الكيمياء والفيزياء في حياتنا

تأليف

نخبة من العلماء

ترجمة

د.محمد عبدالقادر

د. الفونس رياض

الكتاب: الكيمياء والفيزياء في حياتنا.

الكاتب: نخبة من العلماء.

تقديم ومراجعة: د. مُحَمَّد عبدالقادر، د. الفونس رياض.

الطبعة: ٢٠٢٢

الطبعة الأولى ١٩٦٢

الناشر: وكالة الصحافة العربية (ناشرون)

APA

٥ ش عبد المنعم سالم – الوحدة العربية – مدكور- الهرم –

الجيزة - جمهورية مصر العربية

هاتف : ٣٥٨٢٥٢٩٣ _ ٣٥٨٦٧٥٧٦ _ ٣٥٨٦٧٥٧٥

فاكس : ٣٥٨٧٨٣٧٣

http://www. bookapa.com E-mail: info@bookapa.com

دار الكتب المصرية

فهرسة أثناء النشر

الكيمياء والفيزياء في حياتنا/ نخبة من العلماء, ترجمة: مُحَمَّد عبدالقادر، الفونس رياض

– الجيزة – وكالة الصحافة العربية.

٢٧٠ ص، ١٨*٢١ سم.

الترقيم الدولى: ٤ – ٤٤٠ – ٩٩١ – ٩٧٧– ٩٧٨

أ – العنوان رقم الإيداع : ٢٩٤٣ / ٢٠٢٢

الكيمياء والفيزياء في حياتنا



تقديم

«ويسْئلونك عَنْ الرُّوح قلْ الرُّوح منْ أمْر ربي» «صدق الله العظيم»

هذا كتاب عن الحياة يحاول فيه مجموعة ضخمة من أساطين العلم أن يستعرضوا جهود الأجيال في سبر أغوارها وأسرارها. تتصفح الكتاب فتزداد إيمانا بقوة الله، لا يكاد يصل العلم إلى تفسير ظاهرة ما من ظواهر الحياة حتى يتفرع عن هذه الظاهرة عشرات المشكلات التي تحتاج إلى بحث وتفكير وجهد من العلماء طويل، وهكذا ما نكاد تتقدم في علم الحياة خطوة حتى يزداد الطريق أمامنا طولا بل وظلمة لا يبددها إلا الإيمان بقدرة الخالق الذي أبدع فيما خلق.

من أرض صامدة فيها الصخر والماء والهواء، ومن عناصرها الميتة تبعث الحياة في الكائنات كلها ما بين نبات وحيوان، في البحر والبر والجو. في الماء الملح والماء العذب، على الثلوج في أقصى الشمال والجنوب، وبين الجبال والوديان في جو الصحراء الملتهب، عناصر لا يزيد عددها على المائة تتشكل في صورة لتخرج لنا حبة القمح وجسم الفيل، ودقائق تورث فينا صفات الأجيال ما بين عيون المها الخضر وعيون الغيد في لون العسل أو في زرقة السماء.

قال العلماء يوما: إن لوازم الحياة بروتين وسكر ودهن وماء وهواء ثم اتضح لهم من بعد ذلك أن هناك أملاحا وأنزيمات وهرمونات وأشياء أخرى يتوالى ظهورها على مسرح العلم يوما بعد يوم، وأقام العلماء معامل ومصانع تجري فيها من روائع المكتشفات ما نجوب به عبر السماوات، أو نبحر في قاع المحيط في ظلمات بعضها فوق بعض، ولكننا نجد أنفسنا أمام الخلية الحية، على صغرها الذي لا يرى إلا بالمجهر، معملا يقدرون ما يجرى فيه من عمليت كيميائية بحوالي الألفين وأن بها ما يزيد على ١٠٠.٠٠٠ جزيء أنزيمي ينهي من العمليات في دقائق ما نجرى بعضه نحن في ساعات وأيام.

سبحانك ربي، قلت وقولك الحق «ومَا أوتِيتم مِنَ العلمِ إلا قلِيلا»، آية الخلود، نجري ونلهث الأنفاس منا لندرك قبساً مما وضعت في السكون من خلق متكامل متناسق، فما يزيدنا علمنا إلا تيها في بحار قوتك ومن ثم إيماناً بقدراتك وعظمتك.

د.عبدالفتاح إسماعيل

يوليو ١٩٦١

مقدمة

يعنى هذا الكتاب ببحث الحياة باعتبارها عملية طبيعية والمسائل التي يثيرها هي من ذلك النوع الذي يمكن الإجابة عنه في نطاق القواعد والقوانين التي تفسر سلوك الذرات والجزيئات غير الحية.. ففي الفصل الأول يقدم الكتاب تفسيرا للكيفية التي اشتغلت بها الحياة في الأصل في عناصر الأرض.. وفي الفصل الأخير يوضح بداية إدراكنا للأساس الكهربائي للتفكير. وفي الفصول الأخرى من الكتاب التي دبجها الذين أسهموا في تحرير مادته تدعيم للتكهنات التي أوردها كاتبا الفصلين الأول والأخير بما أجريناه من بحوث في اثني عشر حقلا من حقول التجربة العلمية ومهما يكن من شيء فالصورة التي أبرزاها من خلال هذه التجارب على ما فيها من فجوات ومجاهيل تبدو صورة متصلة جديرة بمزيد من اهتمام رجال الدين والفلاسفة والشعراء.

ومن ثم فلهؤلاء ولغيرهم من غير المشتغلين بالعلم يساق أساسا هذا الكتاب.

ومادته هي خلاصة التعاون بين رجال العلم الذين كتبوا فصوله وبين محرري مجلة Scientific America التي ظهرت فيها لأول مرة خلال السنوات الماضية فصوله الثمانية عشر على أن جمع هذه المقالات بعد ذلك في دفتي كتاب قد جعل كلا منها تخلع على بقيتها ما يؤكد صحتها على أنها في مجموعها تمثل خلاصة ما وصلت إليه المعرفة عن الحياة في صورة قد لا تتوافر في أي كتاب آخر.

فالمقالة الأولى عن أصل الحياة لكاتبها جورج والد، هي نفسها خلاصة كثير من المادة التي تحتويها الفصول التالية. ولكي يدرك رجل العلم كيف نشأت الحياة، عليه أن يجمع كل ما نعرفه عن عمليات الحياة كما تحدث اليوم، وكيف تتكون المادة الحية المعقدة من الجزيئات البسيطة للمادة غير الحية، وكيف تتحلى بالصفات التي تربطها بالحياة– وكيف تتكاثر الكائنات الحية وكيف تنقل مشخصاتها الذاتية إلى ذريتها. وعلى أي فتمكن والد من التعليل للمسائل الأساسية التي تدخل في تجارب النشأة الأولى

للحياة، دليل على التقدم الضخم الذي أحرزته حديثا علوم الحياة.

ومهما يكن الشأن في بداية الحياة فإنها ما تزال مستمرة في النشوء على ظهر الأرض، وما تزال الأشياء الحية تدفع في اطراد المواد الخاملة في بيئتها في مجرى عمليات الحياة. ومن المعروف أنه في دائرة الحياة الكبرى المعلقة التي تعتمد فيها كما أن النباتات تدخل الهواء والماء إلى الجزئيات العضوية الأولية للكربوايدرات عن طريق التمثيل الضوئي وبمساعدة ضوء الشمس. وطاقة الشمس المخزونة في الرابطة الكيمائية هي الطاقة التي تبذلها مملكة الحياة بأسرها لتحيا. هذا وتعتمد النباتات، وبالتالي الحيوانات، في تركيب مركباتها الرئيسية على نزلاء من بكتريا مجهولة لها القدرة على إدخال نتروجين الجو في مركبات عضوية، وبذا ترسى أساس تخليق البروتينات التي هي المادة الرئيسية للحياة.

ويقول جوزيف فراتون إن جزيء البروتين هو أروع قطعة هندسية أوجدتها الطبيعة. وتعتبر الطرق المعقدة المتعددة التي تتجمع بها الذرات داخل جزيئات البروتين، فتضفي عليها غناء وتعدداً في أشكالها ووظائفها من الأعمال الهندسية في أساسها. ويصف لنياس بولنج وزملاؤه الخطوات التي اتخذت لإماطة اللثام عن الخطة الرئيسية في تركيب البروتين، فأتاحوا بهذا العمل معرفة مميزات وسلوك الجزيئات التي نقابلها في العظام والعضلات والدم ونواة الخلية. وتصف المقالة التي تليها أحدث انتصارات الكيمياء الحيوية الرائعة، وخاصة العمل اذلي قام به فريديرك سانجر بجامعة كامبردج، وقدم فيه أول وصف كامل لجزيء بروتين الإنسولين– ويحدد هذا الوصف مكان كل وحدة وذرة في الجزيء.

وقد ساعد فهمنا الجديد لتركيب البروتينات على إيضاح وظيفة الحياة الأساسية، وهي التكاثر ونقل الصفات الوراثية. ويسرد الفريد ميرسكي العمل المضني الذي أدى إلى التعرف على جزيء الوراثة. إذ نجح هو وغيره من الباحثين في تحليل الكرومسومات كيميائياً داخل الخلية الحية، بعد فصلها برفق منها– ثم توصلوا إلى أن العامل الرئيسي في نقل الصفات الوراثية هو أحد مركبات النيوكليوبروتين التي يتكون منها

الكروموسوم– وهذا المركب هو حامض الجيزوكسي ايبونيوكليك. الذي يرمز له برمز **DNA** كما يصف ف. هـ. كريك الخطوات التي اتبعت حديثاً لإماطة اللثام عن تركيب مادة **DNA** التي تشبه التركيب العام للبروتينات. ويوضح لنا كريك على ضوء تركيب هذه المادة كيف تتحلى بصفة الأزدواج وتكرار نفسها، وعلى ضوء المعلومات يمكننا أن نفسر الطريقة التي تزدوج بها مادة **DNA** داخل الخلية وهي صورة أكثر تعقيداً. ويعطينا تركيب مادة **DNA** أول دليل على الطريقة التي يتضمن بها جزيء هذه المادة الصفات التي تقرر ما إذا كانت الخلية المنقسمة ستكون مستقبلا بلايين الأميبا المتشابهة أم إنساناً كاملا.

ويمثل الفيروس أحسن تمثيل الوفرة الوفيرة بمادة الحياة الرئيسية، فخارج الخلية لا يخرج الفيروس غن كونه جزيء نيوكليوبروتين كامل، أما حين يغزو الخلية فهو (كما أشار جنثر ستنت) ينتشر في مادتها وكيميائها ويولد منها عدة صور مماثلة لنفسه. وهناك سؤال يطول فيه الجدل عما إذا كانت الفيروسات حية أو غير حية، وهل هي مواد مولدة للخلايا أو نهاية نشوء متحلل؟ وفي كلتا الحالتين هي طفيليات تحصل من الخلية الحية على المواد التي تدخل في تركيبها. وللفيروسات أهمية خاصة بالنسبة للباحث، بعد أن أصبح الطب يكافح الأمراض الناشئة عنها. وذلك لأنها تزود الباحث بمادة النيوكليوبروتين التي تلزم لبعض دراساته.

أما الكائن الضئيل الآخر المعروف بالركيتسيا، فهو نوع من الطفليات أكثر ريقاً، قادر لحد ما على القيام بعمليات حيوية أكثر اتساعاً. فهو أكبر قليلا وأكثر تعقيداً من الفيروس ولكنه أقل تعقيداً من الخلية. والركيتسيات قادرة على تمثيل بعض المواد، وبذا تقدر على توليد جزء من الطاقة اللازمة لحياتها، وبجانب أهميتها كمسببات لعدة أمراض مثل التيفوس، وحمى جبال أمريكا الصخرية، (نوع من التيفوس) فإنها تستهوي الباحثين كموضوع لدراسة العمليات الحيوية.

ويفسر اعتماد الركيتسيا الجزيئي على نفسها، بقدرتها على تخليق الأنزيمات اللازمة لعمليات تمثيلها المحدودة.

والأنزيمات، موضوع الجزء الثاني من هذا الكتاب، مواد بروتينية أساساً تعمل كعوامل مساعدة في أجهزة الجسم الحية. فتنشط التفاعلات البطيئة الجزيئات العضوية لتتمشى مع مطال الحياة– ولكا كان الأنزيم الواحد لا يساعد إلا خطوة واحدة في التفاعل، لذا يحتاج الأمر إلى مئات الأنزيمات إذا أريد الإبقاء على نوع من الحياة الراقية. فمثلا يدخل مالا يقل عن اثني عشر أنزيما في عملية تمثيل السكريات التي يستمد منها الحيوان قسطاً كبيراً من الطاقة اللازمة له، وتتحكم الوراثة في القدرة على تخليق الأنزيمات، وتلك صفى حيوية يشترك فيها الكائن الدنيء كالركيتسيا، والكائن الراقي مثل الإنسان. وقد بحث هذه الخاصية جورج بيدل في عفن الخبز المعروف بالنيروسبورا، وتبين له أن وجود أو غياب أنزيم معين يرتبط بوجود جين معين، ويؤيد هذه النتيجة النظرية القائلة بأن مادة النيوكليوبروتين في الجينات مسئولة عن تخليق الأنزيمات، بطريقة ازدواجية لا تختلف عن طريقة ازدواجها نفسها.

وتعتبر الخلية الحية المسرح الذي تظهر عليه أوجه النشاط الكيميائية الحيوية، وإذا كانت الفيروسات الريكيتسيا تعتمد على الخلية لتكاثرها، لذا يمكن وصف الخلية بأنها الوحدة الأساسية للحياة. ويصف دانيل مازيا عملية المايتوزيز التي ما زالت بمنأى عن إدراكنا وبموجبها تنقسم الكائنات وحيدة الخلية لتكثر من نوعها. وقد نجح مازيا وغيره من الباحثين حديثاً في عزل الجهاز الميتوزي، وبدءوا في احليل مادته وتركيبه كيميائياً. أما ميدان البحث الجديد الآن فهو كيف تتهيأ الخلية وتتخصص في الأنسجة في المتعددة المميزة في الكائنات الكثيرة الخلايا ويسجل س.هـ. وادنجتون أنه بينما يكون هذه العملية تحت رقابة محكمة من مواد منظمة ينتجها الكائن النامي فإنها معرضة للتغير والاختلال بوساطة مواد كيميائية من أنواع مختلفة.

وفي الكائنات الراقية تجابهنا عمليتان هامتان لا نعرف كنهها جيدا. أما الأولى فقد تعرض لها زنت جيورجي حين حاول أن يفسر كيف يعمل بروتين العضلة المرن على تحويل الطاقة الكيميائية الناتجة عن تمثيل السكر إلى طاقة الحركة الميكانيكية، وتقوم العضلة بعملها عندما تكون مرتخية وما انقباضها إلا انطلاق للطاقة التي اختزنتها، ثم

يفسر برنارد كاتز الكيمياء الكهربية لألياف الأعصاب التي تزود الجسم بجهاز الاتصال مستخدمة محطات تقوية على طول الطريق تتصل إحداها بالتي تليها وهكذا؛ شأنها في ذلك شأن «كابلات التليفون» عابر القارات.

وما زال النشاط الكهربي للمخ شفرة غامضة، بدأ العلماء بدأ العلماء حديثاً العمل على حل غزامضها. وقد تمكن جراي والترمن تفسير النماذج التي يرسمها رسام المخ الكهربائي وأنابيب أشعة المهبط ونسبها ليس بالنسبة للأمراض فحسب، بل وبالنسبة للشخصية والعاطفة والذكاء.

الباب الأول

أصل الحياة

نبذه عن المؤلفين

١- أصل الحياة: بقلم/ جورج والد

يعتبر جورج والد أستاذ البيولوجيا بجامعة هارفارد من أكبر الثقاة العالمين في كيمياء الأبصار– ويقول والد:أنه بعد أن فكر مليا في مستقبله، واستعرض مهن المهندسين ورجال القانون والأطباء، وجد ما تصبوا إليه نفسه في دراسة العلوم، واستهواه موضوع الأبصار حين بدأ دراسته العالية على يد العالم سيلبج هشت بجامعة كولومبيا. وتابع والد البحث في هذا الموضوع باصرار شديد لمدة عشرين عاما، وكللت فيها أبحاثه بنتائج ذات بال. إلى أن توجه إلى ألمانيا في منحة المركز القومي للبحوث، حيث اكتشف فيتامين «أ» في الشبكية، عندما كان يعمل في معمل أوتوفاربورج ببرلين. ثم حصل على نتائجه الأولى التي تتعلق بوظيفة دورة الرودوسبين في الأبصار في معمل أوتومايرهوف بهايدلبرج بألمانيا، ومنح جائزة الجمعية الكيميائية الأمريكية في عام ١٩٣٩ تقديرا له على أبحاثه الهامة في الكيمياء الحيوية.

٢- التمثيل الضوئي: بقلم/ يوجين. أ. رابينوفتش

ولد رابينوفتش في سانت بيترسبورج (لننجراد) في عام ١٩٠١ وتخصص في دراسة النبات بعد أن أكمل دراساته في برلين وجوتنجن وكوبنهاجن ولندن في الكيمياء الحيوية والفيزياء. وقد أهلته هذه الدراسات المتنوعة للبحث في التمثيل الضوئي. أما الجانب الآخر من حياته فقد شغله رابينوفتش في الإشراف على مجلة «علماء الذرة» التي أنسبها بالاشتراك مع زملائه في حي مانهاتن وبدءوها كنشرة دورية بعد ساعات من تدمير هيروشيما. وبفضل اخلاصه ومثابرته استمرت هذه النشرة في الظهور ويزداد قراؤها على مر الأيام.

٣- تثبيت النيتروجين: بقلم/ مارتن.د. كامن

بعد أن أتم كامن مرحلة التعليم العام في سن السادسة عشرة بجامعة شيكاغز عام

١٩٣٠ كان ينوي دراسة الموسيقى والأدب، إلا أنه غير ميوله بعد أن حضر مقررا في الجامعة للمبتدئين في الكيمياء، حين بدأت دراسة العلوم تستهويه، فتابع دراستها وحصل على درجة دكتور فلسفة في الكيمياء الفيزيائية. ثم أوفد إلى جامعة كاليفورنيا ليتتلمذ على يدي و. لورانس مخترع جهاز السيكلترون. وهناك اشترك مع صامويل روين في بحوثه عن استخدام النظائر المشعة في التحاليل وفي علوم الحياة، واكتشفا في عام ١٩٤٠ الكربون، ثم انتهت زمالتهما بوقوع الحرب فذهب كامن إلى حي مانهاتن، ولورانس إلى معامل الكيمياء التابعة لوزارة الحرب، حيث وافاه الأجل المحتوم في إحدى حوادث المعمل. ويعمل كامن حاليا أستاذا مساعدا بجامعة واشنجتون بسانت لويس، حيث يتابع بحوثه في حل المعضلات المتعلقة بالتمثيل الضوئي والتمثيل الغذائي.

أصل الحياة

جورج والد

منذ حوالي قرن بلغ التفكير في أصل الحياة– ذلك الموضوع الذي أثار اهتمام الكثيرين على مر التاريخ، نقطة توقف، وحتى ذلك الوقت كان هناك تفسيران أولهما يقول: أن الحياة خلقت بقوة خارقة تعلة على قوة الطبيعة، وثانيهما يقول أنها نشأت من المواد غير الحية. أما التفسير الأول فأمره يخرج عن دائرة العلم، وأما الثاني فلا يمكن الدفاع عنه، وأمام هذا الوضع أصبح العلماء حيارى عاجزين لا يجدون مخرجا لتساؤلهم عن أصل الحياة، وأخيرا لم يجدوا بدا من الكف عن التفكير.

وحديثا عادو العلماء الأمل في التفكير من جديد، ورأوا من تطور العلم والبحث العلمي ما يشجعهم على إعادة التساؤل، على أساس أن الحياة أحدى ظواهر الطبيعة التي يتحتم على العلم أن يجتهد في كشف خباياها، ثم بدأت مرحلة جمع المعلومات والبيانات القائمة والربط بينها بأسلوب عملي تارة ونظري أخرى. وكانت أول الجهود في هذا السبيل ما قام به العالم الروسي أوباريد حين أصدر كتابه «أصل الحياة» في عام ١٩٣٦ ومنذ ذلك التاريخ بدأ العلماء يفكرون من جديد.

ومما لا شك فيه أن محاولة معرفة نشأة الحياة في كوكبنا هذا، تبعث في الآفاق عديدا من المشاكل العلمية التي تقودنا إلى اتجاهات مختلفة ومتعددة، سوف تنتهي حتما بإلقاء الضوء على الكثير من خبايا الكون، ومن خلال كل ذلك ربما يداعب الأمل بعض العقول لا في مجرد الحصول على تفسيرات لنشأة الحياة، بوصفها حدثا تاريخيا عظيما، ولكن ربما يسرح الخيال إلى ما هو أبعد من ذلك، ألا وهو محاولة تطبيق تلك التفسيرات. وقد يقول قائل: إذا كان في مقدرونا أن ندرك كيف يخرج الحي من الميت،

فلم لا نحاول أن نخلق بأنفسنا كائنا حيا، ولكن اتضح أنه على قدر ما يتعمق العلم في فهم أسرار الكون وأصل الحياة، على قد ما تزداد الأمور تعقيداً، وأخيرا نرى أنفسنا اليوم في موقف الذي لا يجرؤ على مجرد إعلان ما كنا نتخيله منذ أعوام.

ومن بين الإجابات التي يرد بها على المتسائل عن نشأة الحياة أن يقالك أنها خلقت. وكثيرا ما قام الإنسان بصنع أشياء لم تكن قائمة من قبل ولكنه حين يعجز يجد المخرج دئاما في أن هناك أشياء تصنعها قوى خارجة عن قدرة البشر، يؤيده في ذلك كل ما ورد في الحضارات والأديان على اختلافها وثقافتها؛ ففي سفر التكوين يروى أنه ابتداء من اليوم الثالث لنشأة الكون، خلق الله الكائنات الحية مبتدئا بالنبات ثم بالأسماك فالطيور ثم الحيوانات الأرضية وأخيراً الإنسان.

وإيما كان الأمر فقد اتجهت طائفة من المفكرين إلى القول بأن الحياة نشأت من الجماد، وأن لكل كائن حي مصدره. فالدود من الطين، والذبابة من اللحم العفن، والفيران من المخلفات إلى غير ذلك من الافتراضات التي تدعو إلى ما سمي نظرية النشوء التلقائي وقد آمن بهذه النظرية كثيرون من أمثال أرسطو ونيوتن ووليم هارفي وديكارت وفان هلمونت.

على أن هذه النظرية أخذت تهتز أركانها رويدا رويدا حتى قضى عليها بعد أن ظلت موضع المناقشة والجدل قرنين من الزمان.

بدأ ذلك أولا في القرن السابع عشر، حين أثبت العالم الأيطالي ريدي أن قطع اللحم لا تنتج يرقات الذباب، أذا حجبت بحيث لا تكون مرتعا للذباب يضع عليها بيضه. ثم بعد ذلك في القرن التالي أثبت العالم الأيطالي سبالانزاني أن الحساء إذا غلي في قنينة محكمة الغطاء بحيث لا يتسرب إليها الهواء أثناء الغليان، لا يمكن أن يفرخ كائنات دقيقة وبالتالي لا يفسد. وفي هذا المجال عارضه الأنجليزي نيدهام قائلا: أن أسراف سبالانواني في غلى الحساء قد جعل الحساء والهواء الذي فوقه غير ملائمين للحياة، فما كان من سبالانواني إلا أن أثبت في معرض الدفاع أن حساءه لم تتأثر حيويته

بالغليان، ذلك أنه ما كاد يرفع الأغطية المحكمة ويسمح للهواء الجديد أن يلمس الحساء حتى دب فيه العفن.

على أن هذه المشكلة قد انتهى حلها في عام ١٨٦٠، حين أعاد باستير بعد غلي الحساء، تجربة سبالانزاني مع تحوير بسيط، هو أنه بدل أن يقفل القنينة سحب رقبتها الزجاجية بحيث صارت ملتوية مع بقاء نهايتها مفتوحة. وبذلك أمكن للهواء أن يتحدد داخل القنينة بطلاقة، ولكن التواء رقبة القنينة كان مدعاة لأن تحجز على جدرانها ذرات الغبار والبكتريا والعفن، وبقي الحساء على هذا الوجه لا يتطرق إليه الفساد.

ولم تكن هذه هي تجربة باستير الوحيدة، لأنه واجه في ذلك الوقت عنادا حمل لواءه العالم الطبيعي بوكيت، وكانت مناقشاته في الأكاديمية الفرنسية عن هذا الموضوع حافزا لباستير على المزيد من تجاربه التي انتهت بالقضاء على النظرية التلقائية في نشأة الحياة.

إن هذه القصة البسيطة نرويها لطلاب المراحل الأولى في دراسة علم الحياة، باعتبارها تمثل انتصارا للمنطق والعلم على مذهب أهل الباطن، ولكن الحقيقة أن العكس هو الذي حدث. فإنه وقد نبت خطأ النظرية التلقائية في النشوء فلم يعد مجال للاختيار إلا أن اؤمن بأن الحياة خلقتها قوة مفردة تعلو فوق مستوى الطبيعة.

ولذلك رأى كثير من علماء القرن الماضي اعتبار فكرة النشوء التلقائي مجرد ضرورة فلسفية.

المواد الكربوهيدراتية هي إحدى المواد الأربع الرئيسية الكربونية الموجودة في المادة الحية. والرمز التركيبي السابق يمثل جزءا من مادة كربوهيدراتية مميزة– هي مادة عديدة السكريات مكونة من ست وحدات من سكر سداسي الكربون يظهر ثلاث سنها في الرسم.

أشكال جزيئات الكربوهيدرات والدهون والبروتينات

والأحماض النيوكليكية نوع آخر من المواد الكربونية متعلق بالعمليات الحيوية. ويمثل الرمز التركيبي السابق جزءاً من تركيب حامض الديزركسي رايبونيوكليك يكون هيكله من سكر خماسي الكربون يتتابع مع حامض فوسفوريك. ويرمز الحرف **R** لأحد أربع قواعد نيتروجينية اثنتان منها بيورين والاثنتان الأخريان بيرميدين.

ورابع هذه المواد الكربونية المتعلقة بالعمليات الحيوية البروتين. وتركيبها الأساسي سلسلة بوليبتيدية عديدة الببتيد تظهر في الرمز السابق. والوحدة الإنشائية في السلسلة هي مجموعة أميد عزلت بالخطوط العريضة في الرمز إلى اليمين. وتتكرر هذه الوحدة بطول السلسلة أو تتبادل مع مجموعات أخرى.

ويعتقد المؤلف أن العالم ليس أمامه إلا أن يعالج موضوع أصل الكائنات الحية عن طريق الافتراض الجدلي بأنها وجدت بالنشوء التلقائي، وعليه أن يجد تفسيرا للعمليات البيولوجية الجارية، ولكن يبقى السؤال الحائر، كيف بدأ خلق الكائنات في الماضي تحت الظروف المختلفة التي تعرض لها الكون؟ ثم كيف استمرت الكائنات هكذا في تتابع جيلا بعد جيل؟

ويعتقد البعض أن خلق كائن حي عمل بسيط لا يتطلب أكثر من وجود المواد اللازمة بنسب صحيحة وترتيب صحيح وأنه ليس وراء ذلك من مطلب؛ ولكنه مطلب عسير المنال لا سبيل إلى تحقيقه!!

أما المواد فلا تعدو الماء وبعض الاملاح.. وهي تملأ البحار.. ثم بعض مركبات الكربون والأخيرة يقال عنها المركبات العضوية لأنها نادراً ما توجد إلا في كائن حي.

وتتكون المركبات العضوية في الأغلب من الكربون والأكسجين والنيتروجين والهيدروجين، ومن هذه العناصر الأربعة يتكون ٩٩% من المادة الحية.

أما المركبات العضوية التي توجد في الكائنات الحية فهي تنتمي أساسا إلى أربعة أنواع رئيسية هي الكربوهيدرات والدهون والبروتينات وحوامض النيوكليك، وتوضح البيانات المذكورة في الصفحات السابقة مكونات هذه المركيات ودرجات تعقيدها.

أما الدهون فهي أبسط هذه المواد إذ يتكون كل منها من ثلاثة أحماض دهينة متحدة مع الجلسرين. والنشويات النباتية والحيوانية مكونة من وحدات من السكر مرتبط بعضها ببعض لتكون سلاسل مستقيمة أومتفرعة. وعلى العموم يظهر في كل من هذه الوحدات نوع واحد من السكر. وعلى الرغم من ضخامة هذه الجزيئات فانها مع

ذلك بسيطة نسبيا. والوظيفة الأساسية للدهون والمواد الكربوهيدارتية هي القيام بدور الوقود الذي يمد الكائن الحي بالوقود الذي يلزمه.

أما حوامض النيوكليك فإنها أكثر تعقيدا، إذ هي تركيبات ضخمة تتكون من تجمعات تحوي أربعة أنواع من الوحدات، يسمى كل تجمع منها «النيوكليوتيد» وهي تتصل ببعضها البعض بأشكال كثيرة تختلف فيها النسب والتعاقب، وبذلك فإنه من الممكن أن نحصل على عدد لا يحصى من تلك التشكيلات. وتعتبر الفروق النوعية بين كل تركيب وآخر من الأهمية بمكان. إذ يعتقد أن هذه التراكيب تكون الجزء الأساسي في تكونين الجينات التي تحمل الصفات الوراثية في الكائن الحي.

ومهما يكن من شيء فالتنوع والاختلاف هما أهم مميزات البروتينات التي تعتبر أكبر وأعقد التركيبات العضوية كلها، ويبلغ عدد الوحدات التي توجد في تركيب هذه المواد حوالي خمسة وعشرين حامضا أمينيا تتصل ببعضها البعض في سلاسل يختلف عدد ما بها من وحدات ما بين المئات بل والآلاف، كما تختلف أشكالها سواء في تتابع الوحدات أو تفرعها، وهناك احتمالات لا حصر لها، وتشكل الملايين من أنواع البروتينات، وهذا هو سر من أسرار الوجود إذ لم يظهر حتى الآن نوعان متماثلان في تركيب ما يحويان من بروتينات سواء في المملكة النباتية أو الحيوانية.

وعلى ذلك فإن الجزيئات العضوية تكون عددا لا نهاية له من الإنسان التي تختلف في نوعها وتركيبها على نحو محير ولا يمكن للإنسان أن يتخيل وجود كائنات حية لا تحوي هذه المواد. وتلك هي المشكلة لأنه لكي نفهم كيف خلقت الكائنات لابد أن نفسر كيف خرجت هذه المواد المعقدة إلى حيز الوجود. وتلك في الحق ليست إلا البداية فإن إخراج كائن حي إلى الوجود لا يتطلب– فحسب– وجود عدد هائل من تلك المواد المتنوعة بكميات مناسبة وبنسب صحيحة بل يتطلب أيضا ترتيبها ملائما، ومن ثم نرى أن البناء له من الأهمية ما للتكوين وما أعسر البناء وأعقده، وإذا كان العقل الالكتروني يعتبر أعقد آلة ابتدعها الإنسان فهو في الواقع ليس إلا لعبة أطفال بالقياس لأبسط أنواع المخلوقات الحية والأمر العسير هنا والمجهد حقا بصفة خاصة هو

أن التعقيد هنا في تركيب الكائن الحي يبلغ من الدقة أنه على مستوى الجزيء يوضع بإحكام إلى جانب جزيء آخر، ذلك الأمر الذي يبدو في حكم المستحيل أن تصل إليه يد إنسان، ومن هنا يبدو أن فكرة النشوء التلقائي هي أيضا في حكم المستحيل.

وهنا يجدر التفكير في معنى كلمة المستحيل، ففي كل حادثة في الحياة يدخل في الاعتبار ما يسمى معامل الاحتمال، أي مقدار احتمال حصول تلك الحادثة. وهو كسر يمثل النسبة بين عدد مرات حدوث الشيء وعدد كبير من محاولات إحداثه، وفي بعض الأحوال يبدو واضحا دون محاولة إيجاده عدديا– فمثلا إذا نظرنا إلى قطعتي نقود ذات وجهين، أحدهما يمثل رأس تمثال فان احتمال الحصول على أحد الوجهين حين ترمي بالعملية هو النصف، وأما إذا احتسبنا ذلك بالنسبة لوهر النرد فإن الاحتماء يهبط إلى السدس. أما في حالة تعذر إيجاد تقدير للاحتمال بهذا الأسلوب فإنه يمكن تقدير ذلك بعد القيام بعدد كبير من المحاولات واحتساب عدد المرات الناجحة.

أما إذا أردنا أن نتبين ما هو المستحيل، وما هو الممكن، وما هو المؤكد من واقع مفهومنا اليومي فإن الحكم على ذلك نسبي، مرده تجاربنا أو بالأحرى عدد المحاولات التي تنطوي عليها حياة الإنسان، أو على الأكثر ما يمكن أن نسجله خلال فترة التاريخ المسجل للإنسان، وفي ظل هذا القياس العلمي العام يبدو أن نظرية النشوء التلقائي هي في حكم المستحيل. وهذه الاستحالة مردها إلى أننا نقيس الأحداث بمقياس التجربة الإنسانية وحدها.

ويرد على ذلك بأن هذا القياس قياس مع الفارق إذ أن الزمن الذي يتصل بمشكلتنا هو الزمن الجيولوجي كله، وليس فترة التاريخ الإنساني فحسب التي تمثل جزءا ضئيلا من هذا الزمن الجيولوجي لا يعتد بها في ميزان الأمور، وحتى لو أخذنا القياس في حدود زماننا وحده فان حكمنا على الممكن يعتوره جوانب من النقص جد خطيرة فنحن إذا قلنا مثلا: إن حدثا بعينه لم يلاحظ وقوعه أحد، خلال فترة التاريخ الإنساني كله فإن هذا القول يبدو مقنعا، ومن ثم فإننا نتجه بناء على ذلك إلى الاعتقاد بأن هذا الحديث مستحيل وقوعه عمليا على الأقل مهما تكن احتمالات حدوثه على أسس

تجريدية.. على أننا إذا أمعنا النظر في هذا الحكم أكثر من ذلك لبدا لنا حكمنا لا معنى له في الأغلب، فالناس أميل بطبعهم إلى أن يرفضوا كل نبأ يجيء عن الأحداث غير المحتملة الحدوث إلى حد بعيد، وذوو الحكم السديد منهم يرون أن الأحوط أن يشكوا في أقوال المراقب الذي يزعم بأنه لاحظ وقوع هذا الحدث بدلا من أن يصدقوه، والنتيجة الحتمية لذلك أن الأحداث الخارقة تسلك في عداد الأحداث التي لم تقع إطلاقا، وهكذا تبدو الأشياء غير المحتملة أشياء مستحيلة.

ولنعط لذلك مثلا يعرفه كل مشتغل بالفيزياء، وهو أن ترتفع في الهواء المنضدة التي أكتب عليها الآن هكذا فجأة ومن تلقاء نفسها، ولا يتطلب ذلك أكثر من أن الجزيئات التي تتكون منها المنضدة- وهي دائما في حالة حركة عشوائية في جميع الاتجاهات- تتجه حركتها مصادفة إلى أعلى. هذا الاحتمال يسلم به كل مشتغل الفيزياء، ولكن حاول أن تقول لأحدهم: إنك رأيت هذا الاحتمال يحدث أمامك، ثم أنظر ما يكون رد الفعل- ولقد حدث أخيرا أن سألت صديقا لي من الحائزين على جائزة نوبل في الفيزياء قائلا له: «هب أني أبلغتك وقوع مثل هذه الحادثة فما يكون ردك؟» فضحك ملء شدقيه ورد قائلا: «أن الاحتمال الأكثر هو أن تكون مخطئا».

من هذا نرى أن قولنا: إن الحدث البعيد لاحتمال لم يلاحظ وقوعه أبد، قول لاغناء عنه، ذلك أن هناك تآمرا لاخفاء مثل هذه الملاحظات لا بين العلماء فحسب، بل وبين العقلاء الذين دأبوا على الارتياب فيما يرونه بأعينهم، فما بالك بما يحكي لهم. وإذا كانت ثمة فئة ترتاب أكثر من الأخرى، فهذه الفئة هي فئة المحامين ولديهم خبرة كبيرة في التشكك في كل الأدلة البشرية- وأقل الفئات ارتيابا هم العلماء الذين- رغم تحفظهم- يدركون تماما أن الأحداث العرضية محتملة الوقوع.

والوجه الأخير لهذه المشكلة هام للغاية، فالنشوء التلقائي للكائنات الحية، ليس بالعارض الذي يتحتم حدوثه مرارا وتكرارا، وربما يكفي حدوثه مرة واحدة على الأقل. ويحدث لمثل هذا الاحتمال شيء أساسي هام كلما زيدت عدد مرات المحاولة؛ فمهما قل احتمال حدوث العارض من محاولة واحدة فإن احتمال حدوثه يزيد بتضاعف عدد

المحاولات حتى يصبح حدوثه أمرا حتميا. فمثلا احتمال عدم سقوط قطعة العملة ووجهها الذي به التمثال يتجه إلى أعلى، وذلك بعد محاولة واحدة ١: ٢. والاحتمال بعد عدة محاولات هو ١: ٢ ×١: ٢ × ١: ٢ بقدر عدد مرات المحاولات. وإذا افترضنا القيام بعشر محاولات من هذا القبيل يكون الاحتمال ١: ٢ مضروبا عشر مرات أو ١: ١٠٠٠ تقريبا– وبالتالي يكون احتمال ظهور رأس التمثال إلى أعلى مرة واحدة على الأقل من عشر محاولات هو ٩٩٩: ١٠٠٠، وهكذا كانت عشر محاولات كفيلة بما يقرب من تحقيق ما بدا في أول الأمر كاحتمال ضئيل.

ويحدث مثل هذا الشيء بالنسبة لأي احتمال آخر مهما صغر. فإذا اعتبرنا عارضا قليل الاحتمال بدرجة ١: ١٠٠٠ فإن احتمال عدم حدوثه من محاولة واحدة هو ٩٩٩: ١٠٠٠ أما احتمال عدم حدوثه في ألف محاولة فهو ٩٩٩: ١٠٠٠ مضروبة في نفسها ألف مرة أي ٣٧: ١٠٠– واحتمال حدوثه ولو مرة واحدة في ألف محاولة هو ٦٣: ١٠٠– وهو أكثر من ثلاث مرات في كل خمس– فكأن تكرار المحاولة ألف مرة غير الاحتمال من ١: ١٠٠٠ إلى ٦٣: ١٠٠ وفي عشرة آلاف محاولة يصبح احتمال حدوث هذا العارض ولو مرة واحدة ١٩٩٩٩: ٢٠٠٠٠– وكأن حدوثه أصبح أمرا لا مناص منه.

ولا يحدث ما يغير الوضع ،إذا قدرنا احتمال حدوث العارض مرتين أو ثلاثا أو أربع مرات على الأقل بدلا من مرة واحدة. ولا يعني هذا أكثر من زيادة محاولات التجربة للحصول على الاحتمال المطلوب.

وفي مشكلة كمشكلة النشوء التلقائي لا نملك طريقة لتقدير الاحتمالات قبل وقوعها أو نقرر ما نعنيه بالنسبة للمحاولة، فأصل الكائن الحي هو بلا شك ظاهرة تدريجية لكل خطوة فيها احتمالاتها وظروف المحاولات التي تجرى فيها؛ غير أن هناك نقطة واحدة، هي أنه مهما كانت ظروف المحاولة فانه كلما زادت فترة الزمن زاد عدد مرات المحاولة.

ولما كان أصل الحياة يدخل ضمن نطاق الظواهر التي إذا حدثت مرة فإن الزمن حليفها، ومهما صغر احتمال حدوث هذه الظاهرة أو أي خطوة من خطواتها فان اعطاءها الزمن الكافي يهيىء لها فرصة الحدوث ولو مرة واحدة على الأقل. وبالنسبة للحياة وما نعرفه عنها من قدرة على النمو والتكاثر فإن حدوثها مرة واحدة يعتبر كافيا تماما لاستمرار وجودها. وإذا اعتبرنا الزمن بطلا بقصتنا فالزمن الذي نعنيه هو ٢ بليون سنة. فكأن كل ما نعتبره مستحيلا على ضوء تجاربنا في الحياة لا معنى له هنا، فبمرور الزمن الكافي يصبح المستحيل ممكنا، والممكن محتملا، والمحتمل حقيقة، وما على الإنسان إلا أن ينتظر فالزمن وحده يصنع المعجزات.

ويعود ذلك بالمناقشة إلى المرحلة الأولى، وهي أصل المادة العضوية فمنذ قرن وربع مضى كانت مادة الكائن الحي المصدر الوحيدة لهذه المواد. ويدرس عادة لطلاب الكيمياء، أنه عندما خلق فردريك فوهلر في عام ١٨٢٨ أول مادة عضوية وهي البولينا، برهن على أن المواد العضوية لا تحتاج إلى الكائنات الحية لتخليقها. وربما كان الأصح أن يقال: إن هذا الكشف لم يثبت أكثر من أنه تخليق المواد العضوية داخل الجسم وخارجه– وأن الحقيقة التي ما زالت ماثلة هي أنه باستثناء عدد لا يذكر من المركبات فإن جميع المواد العضوية التي يعرفها هي من إنتاج الكائنات الحية.

غير أن هذه المواد المستثناة هامة جدا بالنسبة لهذه المناقشة. إذ أصبح معروف الآن أن هناك انتاجا ثابتا بطيئا لجزيئات عضوية دون وساطة الكائنات الحية. كما أن بعض الظواهر الجيولوجية تنتج مركبات عضوية بسيطة فمثلا: تعمل الثورات البركانية على إخراج ماربيدات المعادن إلى سطح الأرض حيث تتفاعل مع بخار الماء لتكون مواد بسيطة من الكربون والأيدروجين. وكان هذا النوع من التفاعل مألوفا في الدرجات القديمة حيث يتولد الأسيتلين من خلط كبريتيد الحديد بالماء.

وقد أولى هارولد يوري (الحائز على جائزة نوبل في الكيمياء) اهتمامه إلى الدرجة التي تؤثر بها الشحنات الكهربية في طبقات الجو العليا على تكوين المواد العضوية– وقام أحد تلاميذه وهو س. ل. ميللر بامرار خليط من بخار الماء والميثان CH_4

والنوشادر NH_3 والأيدروجين (وجميعها غازات يعتقد أنها كانت موجودة في جو الأرض قديما) باستمرار لمدة أسبوع فوق شرارة كهربائية. ثم فحص الناتج بطريقة الكروماتوجراف على الورق الرقيق. ووجد أنه يحتوي على خليط من الأحماض الأمينية، وأمكنه التعرف على الجلايسين والألنين أبسط الأحماض الأمينية وأكثرها انتشارا في البروتينات؛ وكانت هناك أدلة على احتواء المخلوط على حامض الاسبارتيك وحامضين أمينيين آخرين؛ وكانت التجربة عظيمة إذ غيرت آراءنا عن احتمال تكوين الأحماض الأمينية تكوينا تلقائيا.

وقد سبق أن قيل: أنه للحصول على جزيئات عضوية نحتاج عادة إلى كائنات حية– كما يحتاج تخليق المواد العضوية، مثلها في ذلك مثل كل ما يحدث في جسم الكائن الحي إلى تلك المجموعة الخاصة من البروتينات المسماة بالأنزيمات– وهي العوامل المساعدة العضوية التي تنشط التفاعلات الكيميائية في الجسم. ولما كان الأنزيم لا يستهلك بل يبقى كما هو بعد التفاعل فإن الكمية البسيطة من الأنزيم يمكنها أن تحدث تغييرات للمواد لا حد لها.

وتلعب الأنزيمات دورا هاما في كيمياء الحياة حتى أنه ليبدو مستحيلا أن تتصور تخليق المادة الحية دون مساعدتها. ويخلق ذلك مشكلة؛ إذ أن الأنزيمات نفسها مواد بروتينية وهي بذلك من أكثر المواد العضوية المكونة للخلية تعقيدا؛ وكأننا نبحث عن جهاز خاص من أجهزة الخلية لكي يكون الخلية الأولى.

إلا أن هذه المشكلة ليست رغم ذلك عويصة كما تبدو، إذ لا يخرج الأنزيم عن كونه عاملا مساعدا ينحصر عمله في زيادة سرعة التفاعل الكيميائي، ولكن ليس في مقدوره أن يخلق تفاعلات جديدة، بل هو يساعد فقط التفاعلات التي تتم ببطء في غيابه.

ومرة أخرى يصبح الزمن جوهر المناقشة– فما يستغرق لحظات في وجود الأنزيم أو العامل المساعد ربما استغرق أياما أو شهور أو سنوات في غيابه– إلا أنه بمرور الزمن

تصبح النتيجة واحدة.

وهناك جانب إيجابي في صعوبة تصور تخليق المواد العضوية تلقائيا فالكائنات الحية توضح لنا التفاعلات العضوية الممكن حدوثها ونواتجها، ويمكننا التأكد من أنه بمرور الزمن تصبح كل هذه التفاعلات ممكنة. كما يمكن الافتراض أن كل مادة يعثر عليها في جسم كائن، يوجد الاحتمال الضئيل لنشأتها تلقائيا، لو أعطيت الوقت الكافي لتكوينها– وكل ما علينا هو الانتظار.

وربما اعترض على ذلك فورا، إذ أننا نعرف أن هذه المواد غير مستقرة– فإذا سلمنا بهذا المبدأ، فانه بمرور فترات طويلة من الزمن ستبقى جزيئات السكر وجزيئات الدهون وجزيئات البروتين التي ربما تكون قد نشأت تلقائيا– ستبقى كلها فترة محدودة ثم تزول. فكيف يتسنى إذ لهذه المواد أن تبقى، ودون أن تبقى كيف تكون كائنا حيا؟

ويمكن توجيه السؤال على النحو التالي: ما العوامل التي تعمل على هدم المواد العضوية؟ قد يرجع ذلك مبدئيا إلى عاملين: التحليل (أو البلي) والأكسدة بالأكسجين– أما التحليل فمن عمل الكائنات الحية، ونحن نتكلم عن عصر ما قبل الحياة على الأرض– أما الأكسجين فانه يمثل فصلا خاصة من موضوع المناقشة.

ومن المتفق عليه حاليا أن الجو الغابر للكوكب الذي نعيش عليه لم يكن محتويا على الأكسجين الطليق، وكان كل أكسجين الأرض تقريبا متحدا، أما على هيئة ماء وأما على هيئة أكاسيد المعادن. فإذا لم يكن هذا صحيحا فإنه يصعب تصور كيف تجمعت المادة العضوية على مر السنين حتى تسمح بنشأة الحياة. وعندما صرح العلماء بأن جو الأرض الغابر كان خاليا من الأكسجين الطليق اعتقد الناس بأنهم يحاولون غشهم– ولهذا السبب اهتم الكاتب بسؤال عدد من الجيولوجيين فوجد اتفاقا عاما بينهم، على أن جو الأرض الغابر لم يحتو على أكسجين طليق كما أنه لم يكن يحتوي على ثاني أكسيد الكربون. ومن المعتقد أن معظم الكربون الذي كان موجودا على الأرض في عصورها الجيولوجية الأولى، كان على صورة كربون أو كاربيدات المعادن أو

هيدروكربونات والنزر اليسير منه يكون متحدا بالأكسجين.

ولا يخلو هذا الموقف من تناقض. ونحن نميل إلى الاعتفاد بأن البيئة تبعث النغم الذي يتحتم على الكائنات الحية أن ترقص له، فالبيئة كائنة كما خلقها الخالق وعلى الكائن الحي أما أن يكيف نفسه تبعا لها أو يهلك. غير أنه اتضح أخيرا أن بعض الظواهر الهامة للبيئة الطبيعية هي في حد ذاتها من صنع الكائنات الحية. فجو الأرض لم يكن يحتوي على أي أكسجين، حتى أوجدته الكائنات الحية بفعل التمثيل الضوئي للنباتات. وقد قدر في الوقت الحاضر أن كل الأكسجين الموجود في الجو يتجدد عن طريق التمثيل الضوئي مرة كل ٢٠٠٠ سنة، ويمر كل ثنائي أكسيد الكربون بعملية التمثيل الضوئي مرة كل ٣٠٠سنة، وتعتبر هذه الفترة متناهية الصغر بالقياس الجيولوجي. وهكذا نجد أننا أمام الحقيقة التي تقول: إن كل كمية الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون الموجودة على هذا الكوكب ناتجة من الكائنات الحية كما أنها مرت بأجسام هذه الكائنات المرة تلو الأخرى.

وفي عصر ما قبل التاريخ لكوكبنا الذي نعيش عليه، وعندما لم تكن هناك كائنات حية أو أكسجين طليق، كان لابد للمواد العضوية أن تكون مستقرو وثابتة لمدة طويلة من الزمن– وهذا هو الفارق الهام بين الحقيقة التي سبقت الحياة والحقيقة التي نعيش فيها. وإذا كان لنا أن نحدد سببا وحيدا رئيسيا لامكان حدوث النشوء التلقائي مرة واحدة لم تتكرر فربما يكون هذا هو السبب.

ويتحتم علينا مع ذلك أن نقدر حساب قوة أخرى هادمة لا يمكن تحجيمها بسهولة ويمكن تسميتها بالفناء التلقائي، وهو المضاد للنشوء التلقائي. وكنا قد أشرنا إلى أن العمليات التي تتم بوساطة الأنزيم يمكن حدوثها ببطء في غياب هذا الأنزيم. ولما كانت العمليات التي تخلق المادة العضوية عمليات عكسية بمعنى أن كل تفاعل كيميائي يتم بوساطة أنزيم يسير في اتجاهين متضادين، وأنه بمرور الزمن يتم تخليق جميع المواد، إلا أن ما نحصل عليه في الواقع هو حالة اتزان. والمقصود هنا بالاتزان (التوازن)، المرحلة التي يصل فيها تخليق المواد وفنائها إلى حالة اتزان.

ويكون اتجاه التوازن نحو الفناء، وذلك في الغالبية الكبرى من العمليات التي نهتم بها؛ أو بمعنى آخر أن الفناء التلقائي أكثر احتمالا وسرعة من عملية النشوء التلقائي. فمثلا يكون الاحتمال ضئيلا للاتحاد التلقائي لوحدات الأحماض الأمينية حتى تكون بروتينا. وهي بذلك تحتاج إلى فترة زمنية طويلة، غير أن انحلال البروتين أو نواتجه الوسيطة إلى المكونات الأصلية من الأحماض الأمينية، هو الأمر الأكثر احتمالا ولذا فإنه يحدث بسرعة أكبر وبهذا تعمد الطبيعة في ليلة واحدة إلى هدم ما تم تشييده في عان أو قرن من الزمان.

فكيف إذا تتكمن كائنات اليوم الحية من تخليق المواد العضوية ضد قوى الفناء؟ إنها تفعل ذلك ببذل مستمر للطاقة. وفعلا نجد أن الكائنات الحية عامة، قادرة على ما هو أكثر من الوقوف أمام قوى الفناء فهي تنمو بالرغم من هذه القوى– وهي تفعل ذلك على حساب البيئة المحيطة بها– وتحتاج إلى مئونة مستمرة من المواد والطاقة لكي تحافظ على كيانها أولا، ثم تحتاج إلى كميات أكبر كثيرا لكي تنمو وتتكاثر، وما جسم الكائن الحي إلا آلة دقيقة تعمل أجزاؤها معا للقيام بهذه الوظيفة، ولكن عندما ينضب الوقود أو تختل الأجهزة الداخلية، فتعجز عن مواجهة ما يحيط بها، يغلب عامل الفناء على البقاء وتنتهي الحياة. ومحاولات العلم الحالية تهدف إلى زيادة قدرتنا على تخليق الجزيئات العضوية خارج الكائن الحي. ويعتقد كاتب المقال أن هذه معضلة من أعوص المعضلات التي تجابهنا. وهو لا يعتقد أن الحلول مستحيلة إلا أنها تتطلب قوى وظواهر لا نعرف حتى الآن عنها إلا القليل. ومن ذلك القليل الذي نعرف أن في الإمكان أحيانا أن نحمي الجزيئات من الفناء عن طريق ترسيبها أو وصلها بجزيئات أخرى عن طريق أنواع متعددة من التفاعلات الكيميائية والحيوية.

كما أن بعض الجزئيات تكتسب درجة معينة من المناعة ضد الانحلال بفضل كبر حجمها. مثال ذلك الجزيئات الكبيرة المكونة من أحماض أمينية وعديدة الببتيدات. وهناك أيضا الكثير من الجزيئات العضوية التي تتمتع بدافع تلقائي يعمل على تماسكها. وتنبذ بعض أنواع الجزيئات الدهنية مثل الليثيسين والكفالين نفسها من الماء في أشكال

ثابتة تسمى أشكال الميالين وأحيانا تتشكل البروتينات حتى في المحاليل، وربما تكتلت في الحالة الصلبة بأشكال منتظمة. هذا ولم يكتشف بعد كيف تحدث هذه التكتلات الهندسية التلقائية وبخاصة أنها تظهر في مخاليط معقدة من المواد وتتطلب قوى لم تقدر للآن.

وخلاصة الأمر أن هناك إمكانيات كبيرة لمقاومة الانحلال الخارجي للجزيئات وذلك عن طريق تكتلات متنوعة داخل الجزئيات نفسها والمعروف أن الاتزان بين الاتحاد والتفكك في الأحماض الأمينية التي تكون بروتينا يميل إلى ناحية التفكك، إلا أن الاتجاه المضاد يمكن أن يزيد احتماله لو أمكن تكتيل البروتينات مع نفسها أو مع غيرها من الجزيئات؛ ربما يكون ذلك عن طريق عزل البروتين عن الماء الذي يعمل على انحلاله، أو بتكوين اتحاد جزيئي مستقر.

ويبدو البروتين في هذا النظام كناتج عرضي وسط فقط، توضحه المعادلة الآتية:-

أحماض أمينية- بروتين- تكتلات جزيئية.

ويمكن اعتبار مثل هذه التكتلات الجزيئية المختلفة التركيب ودرجة التعقيد نواتج وسطى بين الجزيئات والكائنات الحية.

ومن السهل أن نتصور أن الحياة بدأت في البحر أولا حيث يوجد الماء والأملاح الضرورية. وليس الماء بالعنصر الضروري المكون للكائنات فحسب، بل قام قبل تكوين هذه الكائنات بوظيفة الوسط الذي تذاب فيه باستمرار أنواع الجزيئات المختلفة اللازمة للحياة.

وبهذا تحول البحر تدريجيا إلى حساء مخفف لا حياة فيه، خال من الأكسجين، تجمعت فيه الجزيئات بأنواع وأعداد هائلة تارة لتصطدم وتارة أخرى لتتحدد بعضها مع بعض، مكونة مركبات جديدة، وتارة لتتكتل في تشكيلات عديدة الجزيئات كبيرة الحجم إلى درجة التعقيد.

ثم لننظر بعد ذلك مالذي نظم هذه التشكيلات؟ والنظام هنا لا يقل أهمية عن

التركيب ولكي يتكون كائن حي يجب أن تدخل الجزيئات في أشكال معقدة لتكون في النهاية آلة ديناميكية قادرة على إصلاح نفسها وبناء أجزائها.

ولنبدأ من البللورة وهي خلاصة النظام الجزيئي، إذ توجد فيها الجزيئات بنظام كامل من حيث الوضع والترتيب في جميع أوجه الفراغ– أما الغازات والسوائل فهي على النقيض من ذلك تماما إذ تكون فيها الجزيئات في حركة دائبة وفي أوضاع وترتيب كيفما اتفق.

هذا وقد عرفت أن السوائل تكون جزءا يسيرا من الخلية الحية، أما الجزء الأكبر منها فيكون من جزيئات اتخذت لنفسها وبالنسبة لغيرها أوضاعا ونظاما خاصا. وبمعنى آخر يمثل معظم الخلية درجات متفاوتة تقترب من حالة التبلور مع فروق هامة عن البلورات التي تؤلفها؛ إذ يتضمن تبلور الخلية جزيئات مازالت في المحلول أو ما يمكن أن يسمى ببلورات السائل. ويستمد معظم التركيب الديناميكي المرن للخلية قدرته على التغير المستمر وتبادل المواد من هذه الحالة البلورية، وبالإضافة إلى ذلك نرى أن البلورات العادية تتضمن نوعا واحدا أو أنواعا قليلة من الجزيئات، بينما تتجمع في الخلية الحية أنواع متباينة من الجزيئات المختلفة بدرجة معينة من الترتيب، أو على درجة من البلورة. كما أننا في الخلية بصدد خليط من البلورات وأشباه البلورات في الحالتين الصلبة والسائلة. هذا ولا زلنا على أعتاب البحث في هذا المعمل العجيب معمل الخلية الحية، كلما زدنا فيه بحثا زدنا علما بظاهرة الحياة.

ونحن نعرف أن جزيئات أي سائل كالماء في حركة دائبة، وكذلك الحال بالنسبة للجزيئات الذائبة في الماء، والأخيرة هدف للاصطدام المستمر بجزيئات الماء، مما يجعلها دائبة الحركة، وهي في حركتها هذه يصطدم بعضها ببعض دون أن تأخذ وضعا أو ترتيبا معينا. وكلما كبر الجزيء بالنسبة لجزيء الماء قل أثر التصادم عليه. وكثير من جزيئات البروتين وأحماض النيوكليك كبيرة الحجم، لذلك فهي بطيئة الحركة حتى وهي في المحلول، ولما كانت تحمل عددا كبيرا من الشحنات الكهربية موزعة على سطحها، لذلك فهي تميل إلى ترتيب نفسها في المحلول في صورة بلورة مائية.

وقد سبقت الإشارة عن الاستعداد الهندسي حتى بين بعض الجزيئات الصغيرة مثل الليثيسين والكفالين وهي رغم أنها عديمة الذوبان في الماء إلا أنها تحتوي في تركيبها على مجموعات خاصة لها ميل إلى الماء، وبذا يصبح لديها الاستعداد لتكوين طبقات سطحية تتجه فيها المجموعات إلى الماء، بينما يطل على الهواء ذلك الجزء منها الطارد للماء، وهي بذلك تتخذ أوضاعاً موجهة خاصة لتكون أغشية سطحية أو أشكالاً من الميالين أو أوضاعاً شبه بلورية.

وقد ذكرت حديثاً عدة أمثلة واضحة على تكوينات بروتينية منتظمة مثل الغضاريف والعضلات التي تظهر أليافها تحت المجهز الإلكتروني بنظام منسق جميل مرتب على هيئة خيوط متقاطعة متفاوتة العرض والكثافة، وعلى مسافات متساوية، هذا ويمكن دفع البروتينات التي تكون هذا النظام إلى أن تكون محلولاً تتفرق فيه إلى تنظيمات أخرى مختلفة، يمكن تجميعها ثانية تحت ظروف خاصة فتعود إلى النظام السابق الذي كانت موجودة عليه في الأنسجة.

هذا وقد قدم أوبارين اقتراحاً سديداً أشار فيه إلى أن الاختيار الطبيعي الذي افترض داروين أنه القوة الدافعة للنشوء العضوي بدأ عادة في العمل على هذا المستوى. كما افترض أوبارين أنه بمجرد تجميع الجزيئات لتكون تكتلات غروية تبدأ الأخيرة في التناحر للاستيلاء على المادة. وتجتذب بعض هذه التكتلات– بفضل تركيبها المناسب ونظامها الداخلي– جزئيات جديدة بدرجة أسرع من غيرها وتصبح أنواعاً سائدة. واقترح أوبارين زيادة على ذلك أن لكبر الحجم اعتباراً خاصاً في هذه العملية– وربما وصل الجزء الغروي إلى درجة من النمو يصير بعدها غير مستقر فيتجزأ إلى أجزاء أصغر تبدأ في النمو من جديد والانقسام. وتدخل كل هذه الظواهر في نطاق العمليات المعروفة في المادة غير الحية.

ونحن نفترض أن كل هذه العوامل والقوى وغيرها مما لا نعرفه قد تعطينا في نهاية الأمر فكرة أوضح عن خلق أول كائن حي، وبالتالي مقدرتنا على فهم كيفية استمرار هذا الكائن في الحياة.

وكنا قد أوضحنا أن الكائن الحي جهاز ديناميكي، وهو مركز تبادل مستمر للمادة والطاقة؛ وهذه أهم علامات الحياة ويعتبر وقوفها أقوى دليل على الوفاة. فبماذا كان يقتات الكائن الأول؟ وكيف استمد الطاقة اللازمة لنموه والمحافظة على كيانه؟.

وهناك إجابة واحدة لمثل هذا التساؤل، فبما إنه نشأ في البحر من حساء مكون من الجزيئات العضوية فليس أمامه إلا أن يقتات من هذه الجزيئات، وليس أمامه أيضاً– على حد علمنا الحالي– إلا طريقة واحدة للاستفادة من هذه المواد في غياب الأكسجين، وهي طريقة التخمر. والتخمر عملية بيولوجية تستمد بوساطتها الكائنات الحية الطاقة اللازمة لها عن طريق تكسير الجزئيات العضوية وترتيب أجزائها من جديد. وأكثر مثل مألوف لهذه العملية هو تخمر السكر منتجاً الكحول بوساطة خميرة معينة؛ على أن للخلية الحيوانية القدرة على تخمير السكر وتحويله إلى حامض لاكتيك بدلاً من الكحول. وتمثل المعادلة التالية عملية التخمر في الخميرة:

$$C_6 H_{12} O_6 \longrightarrow 2 CO_2 + 2 C_2 \ H_2 OH + Energy$$

وينتج عن تكسير ١٨٠ جرام سكر إلى ٨٨ جرام ثنائي أكسيد كربون، ٩٢ جرام كحول؛ طاقة مقدارها ٢٠٠٠٠ سعر تستخدمها الخلية. والطاقة هي كل ما تحصل عليه الخلية من هذا التفاعل، أما ثنائي أكسيد الكربون والكحول فكلاهما من الفضلات التي يتحتم على الخلية أن تتخلص منها تظل حية.

ولما كانت الخلية قد نشأت في حساء مكون من المواد العضوية المتراكمة على مر العصور، لذا وجب عليها استهلاك هذه الجزئيات عن طريق التخمر لتحصل على الطاقة اللازمة لحياتها ونموها وتكاثرها وتستهلك هذه الخلايا هذه التركة من الجزيئات كما نستهلك نحن ثروتنا من الزيت والفحم، وطبيعي أن تتوقف هذه العملية يوما ما بنفاذ هذه الثروة وبذلك تنتهي الحياة.

وهنا تدخل لحسن الحظ ثاني أكسيد الكربون لإنقاذ الموقف بأن غزا الجو والبخار بكميات هائلة، ثم وفقت الخلايا إلى اكتشاف عملية التمثيل الضوئي قبل نفاذ الرصيد

المخزون من الجزيئات العضوية، فساعدها ذلك– مستعينة بطاقة الشمس– على تخليق جزيئاتها العضوية مبتدئة بالسكر من ثنائي أكسيد الكربون والماء ثم جميع أنواع المركبات العضوية التي تلزمها، مستخدمة النشادر والنيترات كمصدر للنتروجين وتمثل المعادلة التالية عملية تخليق السكر:

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O + \text{sunlight} \longrightarrow C_6\,H_{12}\,O_6 + 6\,O_2$$

وفيها يتحد ٢٦٤ جراماً من ثنائي أكسيد الكربون مع ١٠٨ جرامات من الماء في وجود طاقة وضوء الشمس، مقدارها ٧٠٠ ألف سعر لتنتج ١٨٠ جرام سكر، ١٩٢ جرام أكسجين.

وتعتبر هذه خطوة هائلة للأمام فلم تعد الكائنات الحية في حاجة للاعتماد على المادة العضوية المختزنة من العصور العابرة وأصبحت قادرة على تخليقها بنفسها، إذ يمكنها عن طريق طاقة أشعة الشمس أن تقوم بتخليق المواد العضوية اللازمة لتكوين مادتها، وأن تولد الطاقة اللازمة لها عن طريق التخمر.

ومع ذلك فإن التخمر مصدر ضعيف جدا للطاقة، يترك معظم الجهد الحراري للمادة العضوية غير مستثمر، وبذا يستلزم الأمر تخمير كميات كبيرة من المادة العضوية للحصول على قدر يسير من الطاقة، كما ينتج عنه فضلات سامة عديدة مثل الكحول وأحماض اللاكتيك والخليك والفورميك وغيرها. وتعمل مياه البحر على التخلص من هذه الفضلات بغسلها– غير أنه لو قدر للكائنات الحية– كما حدث فيما بعد– أن تغزو الهواء أو الأرض لسببت لها هذه الفضلات مشكلة خطيرة.

والأكسجين أحد النواتج العرضية لعملية التمثيل الضوئي، وما أن يتوفر حتى تتمكن الكائنات الحية من استنباط طريقة للحصول منه على طاقة أكبر من طاقة التخمر، وهذه الطريقة هي طريقة الاحتراق البارد المعروفة بالتنفس.

$$C_6\,H_{12}\,O_6 + 6\,O_2 \longrightarrow 6\,CO_2 + 6\,H_2O + \text{Energy}$$

وينتج عن احتراق ١٨٠ جراماً من السكر في عملية التنفس الخلوي طاقة

مقدارها ٧٠٠ ألف سعر، بينما ينتج عن تخمر نفس الكمية من السكر ما يقرب من ٢٠٠٠٠ سعر فقط، وتستخلص عملية الاحتراق هذه جميع الطاقة التي يمكن استخلاصها من احتراق الجزئيات. وتتمكن الخلية بفضلها من سد احتياجاتها من الطاقة ببذل أقل قدر من المادة. ومن المزايا الأخرى لهذه العملية أن نواتجها من ماء ثاني أكسيد كربون، نواتج غير ضارة يمكن التخلص منها في أية بيئة.

وما من كائن حي اعتمد كلياً على عملية التخمر ووصل إلى درجة ما من الرقي، حتى بعد مجيء التمثيل الضوئي فإن الكائنات الحية لم تكن لتحيا إلا حياة بدائية، فهي قادرة بالفعل على تخليق مادتها العضوية ولكن بكميات كافية فقط لكي تحيا، بينما تستغل عملية التنفس مادة المائن الحي بكفاءة كبيرة ولا تسمح بأي فقد. ويعمل ازدواج التخمر مع التمثيل الضوئي على جعل الكائنات الحية قادرة على إعالة نفسها، أما إذا ارتبط التخمر بالتنفس فإن ارتباطهما يوفر لها المزيد من كل ما تحتاجه؛ أو بمعنى أصح يزود التمثيل الضوئي الكائنات بالقدر اللازم لحياتها، بينما يزودها التنفس برأس المال ورأس المال هذا، هو الذي تستثمره في عملية الارتقاء.

وبتعبير آخر كان مجيء الأكسجين إلى الجو تحريراً لحياة كائنات أخرى. إذ تحتوي أشعة الشمس على أشعة فوق بنفسجية لا تتحملها أيه خلية حية، ويقال: إنه إذا قدر لهذه الأشعة أن تصل كلها إلى سطح الأرض فإن الحياة تتوقف؛ ونظراً لأن الماء لديه القدرة على امتصاص قدر كبير من الأشعة فوق البنفسجية؛ لذلك فقد أجبرت الحياة على أن تقبع تحت سطح الماء حتى ظهر الأكسجين وتكونت طبقة من الأوزون في طبقات الجو العليا، عملت على امتصاص هذه الأشعة فبدأت الكائنات الحية تخرج من الماء، وبذلك لم يساعد الأكسجين على إيجاد طريقة للحصول على الطاقة الكافية للارتقاء فحسب، بل وعمل كذلك على إيجاد غطاء من الأوزون مكن للحياة على الأرض وفي الجو.

ولدى علماء الفلك من الأسباب ما يحملهم على الاعتقاد بأن كوكباً مثل كوكبنا له حجم الأرض ودرجة حرارتها وشدة إضاءتها؛ هو حدث نادر في الكون. وكما أن

قصتنا عامرة بالظواهر الضئيلة الاحتمال فإن أقلها احتمالاً أن كان لنا جسم هائل كالأرض نبتدئ به.

ورغم أن هذا الاحتمال ضئيل ألا أن الكون كبير لدرجة أنه قدر أن هناك على الأقل ١٠٠ ألف كوكب مثل الأرض في الكون الذي نعيش فيه. وهناك ١٠٠ مليون جرم سماوي تقع في نطاق التلسكوبات القوية، وبذا يوجد في الفضاء ما يقرب من عشرة ملايين كوكب مثل كوكبنا.

وهناك احتمال لوجود حياة في هذه الكواكب... حياة كما نعرفها– ويعتقد الكاتب أنه لا يمكن أن يكون هناك فعلا طريقة أخرى لتكوين وتركيب كائنات حية تختلف أساساً عن التي نعرفها. وبذلك فإنه من المحتمل وجود الكثير من الأنواع المألوفة لنا– وربما الإنسان أيضاً.

ونحن لسنا وحدنا في هذا العالم ولا نحمل على عواتقنا عبء الحياة كلها، فالحياة حدث عالمي، وعلى قدر ما نعرف هي من أكثر التنظيمات التي وصلت إليها المادة تعقيدا في هذا العالم. وقد جاءت مرارا وفي أماكن عدة– أماكن يفصلها عنا مسافات شاسعة لا يجرأ على اجتيازها– وكبشر نحاول فهمها وربما حاولنا تنظيمها وتوجيه مظاهرها المحلية. ولدينا جميع الأسباب التي تحملنا على تمني كل خير لهذا الكوكب الذي نعيش عليه. أما إذا حلت بنا كارثة فلن تفتقد كل شيء إذ أن بعثا جديداً لحياة سوف يحدث في مكان آخر.

التمثيل الضوئي

يوجين. أ. رابينوفيتش

الإنسان هو سيد المملكة الحيوانية وأكثرها عددا (باستثناء الأسماك) ورغم ذلك فهو أقلها اكتفاء ذاتيا. وإذا نظرنا إلى الموضوع من وجهة نظر علم وظائف الأعضاء، نجد أن جميع الحيوانات البرية بما في ذلك الإنسان ليست غير ذرية صغيرة من الطفيليات التي تعيش متنقلة على المملكة النباتية، لو استطاعت أن تعبر عن نفسها لكان من المرجح أن تنظر للحيوانات نفس النظرة الحقيرة التي ننظر بها نحن إلى البراغيث والديدان الشريطية، تلك الكائنات التي يتحتم عليها أن تعتمد على غيرها لتعيش.

إننا لا يمكن أن تتصور بقاء الحياة على الأرض أو أي كوكب آخر من غير النبات، والسبب الوحيد الذي يدعونا إلى الظن بأن هناك حياة على المريخ هو الاشتباه في اخضرار بعض أجزاء هذا الكوكب.

وعلى قدر ما بلغته معارفنا الحالية، فإن النباتات الخضراء وحدها هي القادرة على إنتاج المواد الحيوية كالبروتينات والسكريات والدهون، من المواد غير العضوية الثابتة دون مساعدة أخرى، اللهم إلا ضوء الشمس المتدفق بغزارة، وذلك عن طريق التمثيل الضوئي. وقد فشل العلماء في محاكاة هذه العملية في معاملهم، ولو على نطاق ضيق، بينما تقوم بها الأشجار الخضراء الضخمة والطحالب المجهرية يوميا على نطاق واسع. وتعمل النباتات التي تنمو على الأرض على اتحاد ١٥٠ بليون طن من الكربون مع ٢٥ بليون طن من الأيدروجين وانطلاق ٤٠٠ بليون طن من الأكسجين كل ذلك في العام الواحد، ومن المدهش حقا أن نعلم أن ٩٠٪ من هذه الصناعة الكيميائية الهائلة

تقوم بها الطحالب المجهرية تحت سطح المحيطات، بينما تقوم النباتات الخضراء، التي تنمو على سطح الأرض، بالعشرة في المائة الباقية.

ويتغذى الحيوان على جزء يسير من المواد العضوية التي يخلقها النبات، ويستخدم النبات نفسه جزءا أكبر من هذه المواد العضوية في علميات تنفسه ومظاهر حياته الأخرى، أما الجزء الأكبر فيتحول إلى الماء وثاني أكسيد الكربون وعدد كبير من الأملاح المعدنية نتيجة لتحلل هذه الأوراق والنباتات الميتة على الأرض أو في البحر. وتتوقف عملية التحلل هذه تحت ظروف جوية وجيولوجية معينة، فتتراكم بذلك كميات هائلة من مخلفات نباتية نصف متحللة، لعدة ملايين من السنين، تحت طبقة واقية من الصخر أو الغرين وتصبح فحما.

ويأتي الكربون والأكسجين والأيدروجين من الجو والبحر في دورات متكررة لا نهاية لها إلى الطبقة الرقيقة من الكائنات الحية فوق سطح الأرض (المعروفة بالبيوسفير) وفوق الجزء العلوي من المحيطات وبعد أن تؤدي نوبتها– التي ربما استغرقت ثواني معدودة أو ملايين السنين في عالم المواد العضوية غير المستقرة– تعود إلى حالة الاتزان المستقرة غير العضوية.

ويختلف ترتيب الذرات في المركبات العضوية عنه في المركبات غير العضوية في التعقيد الكيميائي والطاقة الكبيرة المختزنة. إذ تكون الذرات في الحالة غير العضوية على هيئة جزيئات بسيطة مثل ثاني أكسيد الكربون (CO_2) والماء (H_2O) وحامض الكربونيك ($H_2\ CO_3$) وأيونات الكربون والبيكربونات (HCO'_3 & CO_3'') بخلاف المواد العضوية المعقدة التركيب حتى في أبسط مركباتها مثل الجلوكوز ($C_6\ H_{12}\ O_6$)، فما بالنا بالتركيب الهائل المعقد لجزئيات البروتين مثلا. ويسمح هذا التعقيد بالتحول الذي لا حد له من مادة عضوية إلى أخرى. وتشترك جميع الجزئيات– دون تمييز– في صفة واحدة هي قابليتها جميعا للاشتعال، أي أن لها ميلا كيميائيا للأكسجين. وعندما تتأكسد تنطلق منها طاقة تعادل مائة كيلو سعر من الحرارة، لكل عشرة جرامات من الكربون تحتويها، وبذا تحتوي جميع المواد العضوية على كمية من

الطاقة الحرة القابلة للانطلاق، وهذه يمكن تحويلها إلى حركة أو حرارة أو كهرباء أو ضوء بالاتحاد مع الأكسجين، اتحادا بطيئا أو سريعا. وتعتبر هذه الأكسدة عصب الحياة، فمن غيرها لا ينبض قلب أو ينمو نبات إلى أعلى، متحديا الجاذبية الأرضية ولا تسبح أميبا، أو يسرى حس في عصب أو تجول فكرة في عقل.

ويمكن لبعض الكائنات الدنيئة أن تعيش مستخدمة مصادر من الطاقة الكيميائية لا يدخل فيها الأكسجين مثل التخمر.

والتمثيل الضوئي للنباتات عملية تتحول بوساطتها المادة من الصورة البسيطة الخاملة في عالم المركبات غير العضوية، إلى الصورة النشطة المعقدة التي هي أساس الحياة. وليست العملية معجزة كيميائية فحسب بل استعراض بديع لاستنباط الطاقة. وعندما يدرس علماء النبات والكيمياء الحيوية والتمثيل الغذائي، فإن أكثر ما يذهلهم هو المهارة الفائقة في تخليق السكر من ثنائي أكسيد الكربون والماء. وعندما يتمعن علماء الفيزياء والكيمياء الضوئية في نفس الظاهرة، تتملكهم الدهشة والأعجاب من كيفية تحول المادة الخاملة كيميائيا إلى مادة غير مستقرة ذات طاقة كبيرة بوساطة الضوء.

وليس في وسع العلماء محاكاة عملية التمثيل الضوئي خارج الخلية النباتية فحسب، بل هم لا يعرفون طريقة ولو نصف فعالة لتحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية. وإذا قدر لنا أن نعرف السر الكيميائي لعملية التمثيل الضوئي، فربما أمكننا الاستغناء عن النبات كمصدر ولأمكننا تركيب السكر مباشرة من الكربونات والماء– ولو عرفنا السر الفيزيائي لهذه العملية لأمكننا الاستغناء عن وظيفة النبات كمخزن للطاقة، ولأمكننا توليد الطاقة الكيميائية والكهربية من ضوء الشمس مباشرة.

وقصة القليل الذي نعرفه عن التمثيل الضوئي تبدأ بجوزيف بريستلي الذي كتب في عام ١٧٧٢ يقول: "كم كنت سعيدا عندما توصلت بطريق المصادفة إلى طريقة، لتنقية الهواء الذي فسد بإحراق الشموع، واهتديت بذلك إلى اكتشاف احدي الطرق

التي تعمد بها الطبيعة إلى تنقية الهواء– بوساطة النبات– وكان يمكن أن نتصور أنه إذا كان الهواء ضروريا لحياة النبات والحيوان على السواء فإن كليهما يؤثر فيه بنفس الطريقة. وكنت أنا شخصيا أتصور ذلك فعندما وضعت عودا من النعناع في ناقوس من الزجاج منكس في وعاء من الماء. وبعد أن نما النبات على هذا الوضع لعدة شهور اكتشفت أن هواء الناقوس لا يطفى لهب الشمعة، كما أنه يساعد فأرا وضع فيه على الحياة".

وبهذه الكلمات وصف بريستلي– رجل الدين والفيلسوف وعالم الفيزياء– واحدة من أهم الملاحظات في تاريخ علم الأحياء التجريبي، وهو اكتشاف قدرة النبات على اطلاق الأكسجين.

وبعد سبع سنوات لاحظ الهولندي جان أنجن هويز الطبيب الخاص للإمبراطورة النمساوية ماريا تريزا ناحية أخرى من نواحي هذه الظاهرة وكتب في عام ١٧٧٩ يقول.

"لاحظت أن النباتات ليس لها القدرة على تنقية الهواء الفاسد بنموها فيه فترات تتراوح بين ستة أيام وعشرة، كما بينت تجارب بريستلي فحسب، بل تقوم بهذه العملية الهامة بصورة تامة في عدة ساعات. وأن الفضل في هذه العملية ليس مرده خضرة النبات بل تأثير ضوء الشمس عليه. فقد وجدت أن سرعة هذه العملية تتناسب مع شدة ضوء النهار ودرجة تعرض النبات لها، وأنها تقل في نهاية اليوم وتنعدم كلية عند الغروب. وأن الأوراق والسيقان الخضراء هي التي تقوم بهذه العملية، وليس النبات كله".

وبذا تم اكتشاف توقف التمثيل الضوئي على الضوء والمادة الخضراء أو الكلوروفيل. وفي عام ١٧٨٢ أضاف أحد رجال الكنيسة في جنيف، ويدعي جان سنيبر عاملا هاما آخر هو ثنائي أكسيد الكربون الذي يوجد بمعدل ثلاثة سنتيمترات مكعبة في كل عشرة لترات من الهواء الجوي. ورغم ضآلة هذه الكمية إلا أنها لو أزيلت من الهواء لتوقف تماما إنتاج الأكسجين تحت تأثير الضوء.

وقد تزعزع الإيمان بنظرية التغذية عن طريق التربة؛ تلك النظرية القديمة الراسخة (ولو أنه مازال الكثيرون يؤمنون بأن الأرض الجيدة السوداء تزود النبات بالمواد الغذائية العضوية؛ وواقع الحال أنها تمده بالمعادن فقط) عندم عمد الكيميائي الطبيب جان فان هلمونت إلى زرع شجرة كبيرة في دلو به تربة، فلم ينقص وزن التربة أوقية واحدة. وهكذا مهدت هذه النظرية لانقلاب نهائي، إذ أنه لو فسرت اكتشافات بريستلي وانجن هويزوسنيبر بلغة انتوان لافوازييه الكيميائية الجديدة لوضحأنه بتعريض النباتات الخضراء للضوء تمتص ثاني أكسيد الكربون وتطلق الأكسجين؛ وهنا يبرز سؤال حتمي! ترى ماذا يفعل النبات بالجزء الآخر المكون لثاني أكسيد الكربون وهو الكربون؟ ويرجع الفضل في الإجابة الصحيحة عن هذا السؤال غذاء النبات، أو بمعنى أصح أن عملية التمثيل الضوئي ليست عملية تنقية للهواء لصالح الإنسان والحيوان، بل هي عملية تمثيل غذائي للكربون لصالح النبات نفسه أولا.

وكان هناك في عالم الغيب مادة أولية أخرى في كيمياء التمثيل الضوئي، اكتشفها أحد مواطني المدينة المثقفة جنيف في عام ١٨٠٤ هو بيكولاس تيودور دي سوسير، الذي وجد أنه بالإضافة إلي ثنائي أكسيد الكربون، يدخل الماء أيضا ضمن عملية التمثيل الضوئي لإنتاج المادة العضوية.

ثاني أكسيد كربون + ماء $\xrightarrow[\text{ضوء}]{\text{أخضر نبات}}$ مادة عضوية + أكسجين

وفي غياب الضوء أو في أجزاء النبات غير الخضرية، ينعكس هذا التفاعل فينتج عن تنفس ماء وثاني أكسيد الكربون من المادة العضوية والأكسجين.

وحوالي عام ١٨٠٠ تم تعريف التمثيل الضوئي تعريفا كيميائيا عاما ينقصه أحد التفاصيل، وهو أن المادة العضوية الناتجة هي مواد كربوايدراتية تتركب من الكربون والأيدروجين والكسجين متحدة بعضها مع بعض بنفس النسبة التي توجد بها في الماء. ويرمز لهذه المركبات بلغة الكيميائيين بالرمز **$C_m(H_2O)_n$** وجميع السكريات والنشا والسليولوز مواد كربوايدراتية. وقد توصل علماء وظائف أعضاء النبات في عام ١٨٥٠

إلى أن أول ناتج لعملية التمثيل الضوئي هو مركب من هذه المواد، وذلك في ضوء التقديرات الكمية لكميات ثنائي أكسيد الكربون والأكسجين المتبادلة، وملاحظة تكون النشا في الأوراق المعرضة للضوء.

وكان الباحث الألماني جوليوس روبرت فون ماير، صاحب نظرية عدم فناء المادة، هو أول من اكتشف القيمة الفيزيائية للتمثيل الضوئي وهو تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية، وكتب في عام ١٨٤٥ يقول: كلفت الطبيعة نفسها مهمة اقتناص الضوء المنبعث نحو الأرض– أكثر الطاقات المعروفة تسللا وهربا– واختزانه عن طريق تحويله إلى طاقة ثابتة. ولكي يتسنى للطبيعة ذلك غطت وجه الأرض بالكائنات التي تستولى على الضوء في أثناء حياتها وتستغل طاقته.

إن هذه الكائنات هي النباتات إذ يكون عالم النبات خزانات تحتبس فيها أشعة الشمس المتبخرة ببراعة فائقة لتستغل فيما بعد بطريقة اقتصادية يرتبط بها كيان الجنس البشري وبقاؤه ارتباطا وثيقا.

وبهذا الإدراك أصبح واضحا أن التمثيل الضوئي للنبات بالإضافة إلى كونه المصدر الوحيد للطاقة الحيوانية. ويعتبر بطريق مباشر (عن طريق استخدام الخشب والفحم كوقود) مصدر معظم الطاقة التي يستخدمها في الصناعة من حرارة وضوء– وبالفعل هو مصدر الطاقة التي تستلزمها نهضتنا الحديثة عدا ما تتكفل به القوى المائية وانشطار الذرة.

وقد انكب المئات من علماء النبات والكيمياء والفيزياء منذ الوقت الذي تمت فيه اكتشافات بريستلي وأنجن هويز وسنيبر على دراسة التمثيل الضوئي، كما نشرت آلاف البحوث في مختلف نواحيه.

ويشعر عالم الكيمياء الحيوية أنه مادام قد عرف الخطوات المتتابعة لعملية كيميائية داخل الخلية والنواتج الوسطى للتفاعلات والأنزيمات التي تتم بوساطتها خطوات التفاعل الفردية، فإن ذلك يتيح له محاكاة هذه العملية خارج الخلية.

على أنه نادرا ما تكون معرفتنا بالتفاعلات الحيوية كاملة، ولكننا كثيرا ما نعرف الخطوات الأساسية على الأقل ثم نقلدها. ومن أمثلة ذلك الخطوات الأولى لتكسير جزئ الجلوكوز التي تحدث في التنفس الخلوي لجسم الحيوان– وهي عبارة عن تكوين جزئ من ثنائي فوسفات الفراكتوز الذي ينشطر بعد ذلك إلى جزيئين من أحادي فوسفات الترايوز، والأنزيمان التي تقوم بهذه التفاعلات معروفة لنا غير أننا لا نعرف تماما الطريقة التي تعمل بها.

كما أننا لا نعرف أيضا في حالة التمثيل الضوئي إلا النزر اليسير عن الخطوات الفردية للتفاعل، وربما كانت معرفتنا بالعوامل المساعدة التي تتم بوساطتها هذه الخطوات أقل من ذلك. إذ يمكننا تحضير خلاصة من الخلايا النباتية على الكلوروفيل، أو أي أصباغ أخري تكون موجودة في نبات يقوم بعملية التمثيل الضوئي؛ غير أن هذه الخلاصة لا تعجز عن القيام بعملية التمثيل(مستخدمة ثنائي أكسيد الكربون لتنتج أكسجينا) فحسب، بل قد تكون خالية من وجود أي عامل مساعد أو صفات ضوء كيميائية لها علاقة واضحة بالخطوات المحتملة للتمثيل الضوئي. وربما بدا لنا أن الطرق الكيميائية المتبعة في فصل محتويات الخلية النباتية عنيفة قد تؤدي إلى انحلالها، وبذلك تتحول إلى اتباع الطرق الميكانيكية، فنأخذ خلية خضرية كبيرة مثل خلايا بعض الطحالب ونوخزها بإبرة محاولين الوصول إلى داخلها، فإذا بنا نجد أن عملية التمثيل الضوئي تتوقف فورا، مع أن الخلية تكون حية وتتنفس لكنها تتوقف عن إطلاق الأكسجين وامتصاص ثاني أكسيد الكربون.

هكذا كانت الحال إلى عهد قريب بالنسبة لدراسة التمثيل الضوئي فلم يكن هناك احتمال للتوصل إلى تفكيك التركيب الحيوي للخلية ودراسة أجزائه على حدة، وكان الموقف يتلخص في كلمتين كل أو عدم، ففي الحالة الأولى: تعمل الخلية كوحدة تقوم بوظيفة التمثيل الضوئي كاملة، وفي الحالة الثانية: تصبح الخلية ركاما من الأجزاء المنفصلة أو الوحدات الكيميائية المتناثرة، التي لا تبدي أي دليل على قيامها بوظيفة التمثيل الضوئي الذي كانت تقوم به الخلية عندما كانت حية متكاملة.

إلا أن الموقف قد تغير في السنوات الأخيرة، وأصبحت المشكلة أقل تعقيدا بل أمكن إحراز بعض التقدم عن طريق فهم التفاعلات الكيميائية، أو بمعنى أصح الضوء- كيميائية- كما أتاح لنا تحسين الطرق العملية القديمة واستنباط طرق جديدة كالتحليل الدقيق بوساطة القياسات الكهر كيميائية، وأجهزة قياس الضغط الدقيقة واستخدام النظائر المشعة والتحليل الطيفي الكمي- إلا أنه ما من طريقة من هذه الطرق، حتى طريقة النظائر المشعة الرائعة، قد أوصلتنا إلى الغرض المنشود في كشف أسرار التمثيل الضوئي، ولكنها مجتمعة تبشر بالتقدم نحو تحقيق الحلم القديم في فهم عملية التمثيل الضوئي في الطبيعة، وتقليدها داخل أنبوبة الاختبار. وتكمن وراء ذلك الرغبة الملحة في الوصول إلى غرضين صناعيين عظيمين، وهما تخليق المواد العضوية صناعيا والحصول على طاقة لأحد لها من ضوء الشمس دون الاستعانة بالنبات.

وقد توصل أحد علماء وظائف الأعضاء النباتية الانجليزي ف. ف. بلاكمان في عام ١٩٠٥ إلى طريقة قياس سرعة التمثيل الضوئي تحت ظروف مختلفة، فتبين له أن هذه العملية ليست تفاعلا واحدا، بل تشتمل على الأقل على تفاعل واحد في الظلام (تفاعل لا يتأثر بالضوء)- وكلما زادت شدة الضوء لا تزداد سرعة التمثيل الضوئي (بقياسه تجمع الأكسجين المنطلق في الدقيقة) بدرجة غير محدودة، بل تقترب من حالة تشبع، إذا زيدت شدة الضوء بعدها لا تتأثر سرعة التمثيل الضوئي ويوحي ذلك بأن هناك مرحلتين، واحدة منها فقط هي التي تتأثر بالضوء. ويمكن توضيح ذلك بالتشبيه التالي: إذا أراد مليون رجل أن يعبروا البحر على مرحلتين: الأولى بالقطار حتى الميناء، والثانية بالباخرة حتى ميناء الوصول- فإذا زيد عدد القطارات وسرعتها فإ ذلك يزيد سرعة رحيل الركاب إلى نهاية المرحلة الأولى فقط، وهناك تتوقف باقي الرحلة على حمولة البواخر الراسية في الميناء وعددها، وأي تحسين جديد يطرأ على النقل بالقطارات سوف لا يؤدي إلا إلى ازدحام الميناء. وبالعكس لن يؤدي تزويد الميناء بعدد من البواخر تسع أكبر حمولة من القطارات القادمة إلى أية نتيجة. وهناك في التمثيل الضوئي مرحلة أو مراحل يزيد الضوء من سرعتها (مشابهة لرحلة الباخرة) وربما تتوقف

سرعتها على عدد جزيئات الأنزيمات الموجودة في النبات ومن العبث زيادة سرعة التفاعل الضوئي أكثر من طاقة التفاعلات اللاضوئية (التي تتم في الظلام) لنقل نواتج التفاعل الضوئي.

وقد أوضحت بجلاء تجارب الضوء الخاطف هاتين المرحلتين (المرحلة الضوء-كيميائية والمرحلة اللاضوئية) فبعد تعريض النبات إلى ضوء خاطف لفترة قصيرة تستغرق ٠.٠٠٠١ من الثانية يستمر انطلاق الأكسجين في الظلام نحو ٠.٠٢ من الثانية. وبمعنى أدق يتطلب الحصول على أكبر كمية منطلقة من الأكسجين، لكل وميض، مرور فترة ظلام تقرب من٠.٠٢ من الثانية، وتقيس هذه التجربة مباشرة الوقت اللازم لإتمام أبطأ تفاعل لا ضوئي في عملية التمثيل الضوئي (وهي تماثل الوقت الذي تستغرقه البواخر في عبور المحيط لتعود مرة ثانية إلى الميناء) كما وجد أيضا أن هناك حدا لكمية التمثيل الضوئي التي يمكن أحداثها بوميض واحد- وهو ما يعادل جزئ أكسجين لكل ٢٠٠٠ جزئ كلوروفيل موجود في الخلية. ويعتبر هذا غريبا إذ كنا تتوقع أنه عند التعرض لوميض قصير يتاح لكل جزئ من الكلوروفيل الفرصة ليقوم بوظيفته مرة واحدة لينتج جزيئات من الناتج الوسط- وبناء عليه يكون أقصى ناتج عبارة عن جزئ أكسجين لكل جزئ كلوروفيل أو لكل مجموعة صغيرة فيه. وقد اقترح جيمس فرانك بجامعة شيكاغو تفسيرا لهذا التناقض، وهو أن أقصى ناتج لكل وميض لا يعتمد على عدد جزيئات الكلوروفيل، بل على عدد جزيئات الأنزيم المسئول عن المرحلة الثانية من التفاعل (أو كما في مثال البواخر على عدد غرف الباخرة، وليس على عدد مقاعد القطار). وبمعنى آخر ينتج الوميض عددا من الجزيئات المتوسطة بقدر عدد جزيئات الكلوروفيل إلا أن عددا قليلا نسبيا ينجح في الوصول إلى الدور اللاضوئي التالي لينتج أكسجينا.

ولكن لماذا لا ننتظر النواتج الوسطى في التفاعل في الميناء حتى تنقل البواخر (الأنزيمات) بعضها إلى البر الآخر وتعود لتحمل دفعة ثانية وثالثة وهكذا..؟

وكان تعليل فرانك لذلك أن هذه النواتج غير مستقرة وتتحلل، فإذا لم تعامل

بعامل مساعد نهائي فإنها تختفي عن طريق التفاعلات العكسية قبل أن يستعد العال المساعد لنقل حمولة أخرى.

وبذا يكون لدينا هذا الإطار الشيق لعملية التمثيل الضوئي: يتكون التمثيل الضوئي من مرحلة ضوئية ومرحلة لا ضوئية، وينتج عن المرحلة الضوئية نواتج غير مستقرة يحولها التفاعل اللاضوئي إلى نواتج مستقرة، عن طريق تحويلها إلى اكسجين ومواد كربوايدراتية. ويتحكم في سرعة التمثيل الضوئي عنق زجاجة من التفاعل اللاضوئي الذي يمكنه أن يعالج جزيئا واحدا فقط أو على الكثر عددا ضئيلا جدا من جزيئات النواتج الوسطى لكل ٢٠٠٠ جزئ كلوروفيل في كل ٠.٠٢ من الثانية.

ويمكننا أن نحدس طبيعة المرحلة الضوئية المحتملة في عملية التمثيل الضوئي من معلوماتنا العامة عن طبيعة التفاعلات الكيميائية وعلى الأخص ما يتعلق فيها بالتمثيل وتشمل عملية التنفس في النبات، وهي عكس عملية التمثيل الضوئي، نوعين من التفاعلات:

تلك التي تفصم الروابط بين الكربون في الجزيئات العضوية الكبيرة وتلك التي تنزع ذرات الأيدروجين المتحدة مع الكربون ثم تنقلها إلى الأكسجين بفعل الأنزيمات لتكون ماء. ويجب أن يشتمل التمثيل على هاتين الخطوتين إلا أنهما يعملان في الاتجاه المضاد، وهما نقل الأيدروجين من الماء إلى ثنائي أكسيد الكربون وتكوين سلاسل طويلة من الكربون. ومن هذين التفاعلين يكون نقل الأيدروجين هو المسئول عن توليد الطاقة في عملية التنفس؛ ولذا كان من المؤكد أن يكون هذا التفاعل مسئولا عن تخزين الطاقة في عملية التمثيل الضوئي– وتأتي هذه الطاقة المختزنة من الضوء. وبناء عليه تشير كل الاحتمالات إلى أن التفاعل الضوئي في عملية التمثيل ما هو إلا نقل الأيدروجين من الأكسجين إلى الكربون، أو بمعنى آخر من مادة أكثر استقرارا إلى مادة أقل استقرارا. وللتعبير عن ذلك ميكانيكيا نقول: إنه في عملية التنفس تندفع ذرات الأيدروجين إلى أسفل الجبل، وفي التمثيل الضوئي تدفعها ذرات الطاقة المسماة بالكوانتا والتي يمتصها الكلوروفيل إلى أعلى الجبل.

ولتوضيح هذه العملية العكسية نخلط محلولا من صبغة الثيونين بآخر من سلفات الحديدوز، فنجد أن لون الصبغة يختفي في الضوء الشديد في أقل من الثانية ويعود فورا في الظلام. ويتضح من هذا المثال أن التفاعلات المبنية على الأكسدة والاختزال تسير في اتجاه في الظلام، وتسير في الاتجاه المضاد في الضوء، ففي الضوء تختزل سلفات الحديدوز الصبغة وتحولها إلى صورة لا لون لها، ويتأكسد الحديدوز في الوقت نفسه إلى الحديديك، وفي الظلام يؤكسد الحديديك الصبغة ثانية إلى الصورة الملونة، ويختزل هو إلى الحديدوز ويجب أن يحتوي التفاعل الضوئي الأول في عملية التمثيل على تفاعل من هذا النوع، مع فارق واحد هام هو أن النبات مزود بجهاز أنزيمي من هذا النوع، يكبح بكفاءة تامة أي تفاعل عكسي في الظلام، مادامت نواتج التفاعل الوسطى غير المستقرة لا تتكون بسرعة كبيرة.

وكمية الطاقة الموجودة في نواتج التمثيل الضوئي معروفة، وتمثلها الحرارة المنطلقة عندما يحترق السكر إلى ثنائي أكسيد الكربون وماء ومقدارها ١١٢ كيلو سعرا لكل جرام ذرة من الكربون (الجرام ذرة= جراما واحدا مضروبا في الوزن الذري للعنصر) وهذه الطاقة تمثل الحد الأدنى من الطاقة التي يزودها الضوء في عملية التمثيل. ولاختزال جزئ من ثنائي أكسيد الكربون إلى المستوى الاختزالي للسكر يجب نقل أربع ذرات من الأيدروجين للجزئ.

ولرفع ذرات الأيدروجين هذه إلى (أعلى الجبل) من الماء إلى ثنائي أكسيد الكربون، يجب أن تدفع كل من هذه الذرات الأربع بما لا يقل عن ربع كمية الـ ١١٢ كيلو سعرا أو ٢٨ كيلو سعرا لكل جرام ذرة أيدروجين. ويتكفل الضوء بهذه الدفعات.

هذا وقد برهن فيلزبوهر وألبرت أينشتاين في عام ١٩١٣ على أن الضوء يمتص بوساطة الذرات أو الجزيئات على هيئة كوانتا ذات طاقة محدودة الكمية تتناسب مع طول موجة الضوء. وللأشعة الحمراء التي يمتصها الكلوروفيل بشراهة كوانتا تزود الذرات الممتصة بما يقرب من ٤٠ كيلو سعرا لكل جرام ذرة. ومن الجلي أن الواحدة من هذه الكوانتا لا تكفي لنقل أربع ذرات م الأيدروجين (يلزمها ١١٢ كيلو سعرا).

فهل يلزمها أربعة كوانتا بمعدل كوانتم واحد لكل ذرة أيدروجين؟ وحتى هذا يعتبر عملا رائعا: يمتص النبات ١٦٠ كيلو سعرا من الطاقة الضوئية، ويختزن ١١٢ كيلو سعرا على هيئة طاقة كيميائية بكفاءة قدرها ٧٠%.

وفي عام ١٩٣٢ قام العالم البيولوجي الألماني أوتوفاربورج بأول محاولة لقياس محصول الكوانتا للتمثيل الضوئي– أو عدد الكوانتا اللازمة لاختزال جزئ واحد من ثنائي أكسيد الكربون، وقد تطلب ذلك قياس الطاقة الضوئية الممتصة بدقة، ثم تقدير حجم الأكسجين الناتج. وللحصول على أكبر قدر من الناتج تطلب ذلك إجراء القياس في ضوء ضعف لتجنب أثر التشبع– وكانت النتائج غاية في الدقة– ووجد فاربورج أن أربعة كوانتا قد امتصت لكل جزئ من الأكسجين وهذا مطابق للحد الأدنى المتوقع نظريا، وهو أن دل على شيء فإنه يدل على كفاءة النبات النادرة في تحويل الطاقة.

ومع كل ، فلم تسلم نتائج فاربورج من التحري عندما فشل باحثون آخرون في تأكيد ملاحظاته وحصلوا بدلا منها على ناتج يعادل ١٠ كوانتا لكل جزئ أكسجين، وفي تجارب أخرى كانت ثمانية كوانتا. ولكنه ما من نتيجة كانت أقل من ثمانية. ومازالت المشكلة دون حل، غير أن الأدلة ترجح كفة الأرقام العالية ثمانية كوانتا أو أكثر لكل جزئ أكسجين. ورغم ذلم فإن تحويل النبات ٣٥% من الطاقة لهو رقم جدير بالاحترام، إذا علمنا أننا لم نهتد بعد إلى تفاعل يتم بوساطة الضوء المرئي يمكنه تحويل ولو ١٠% من الطاقة الضوئية المختصة إلى طاقة كيميائية خارج الخلية النباتية. ولو اكتشفت طريقة الامتصاص وتحويل ١٠% من الطاقة الضوئية فإن هذا الاكتشاف سوف يحدث تطورا في اقتصادنا أكبر مما نتوقعه في الوقت الحاضر من اكتشاف الطاقة الذرية الذي نال حظا وفيرا من الدعاية.

ولكي ندرك كيفية استخدام الكلوروفيل لثمانية كوانتا ضوئية، في نقل أربع ذرات من الأيدروجين من الماء إلى ثنائي أكسيد الكربون، تتصور أن جزئ الكلوروفيل يمتص كوانتما واحدا يتحول إلى حالة نشطة غنية بالطاقة، وبذا يتمكن من جذب ذرة واحدة

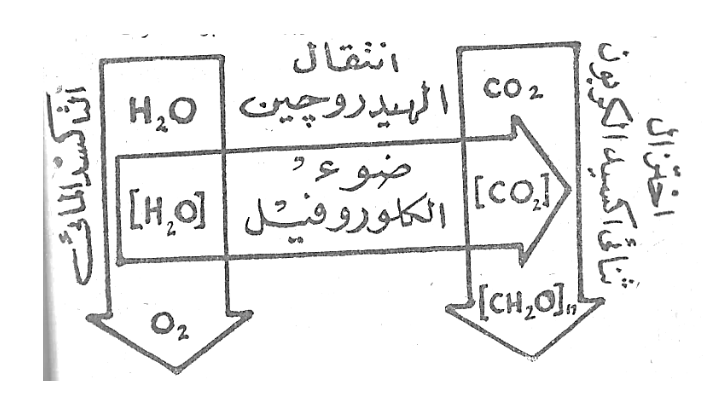
من الأيدروجين من الماء (أو من مركب آخر ناتج عن الماء بفعل أنزيم في الظلام). وعلى هذه الحالة المختزلة يأخذ الكلوروفيل كوانتا ضوئيا آخر مستخدما طاقته ليدفع نفس ذرة الأيدروجين إل ثنائي أكسيد الكربون أو مركبا آخر ناتجا من ثنائي أكسيد الكربون بتفاعل لا ضوئي.

وقد افترض منذ أمد بعيد أن الكلوروفيل هو العامل الوحيد الذي يمكنه القيام بهذا الدور؛ كما كان معروفا جيدا أن جميع النباتات الخضرية تحتوي على أصباغ أخرى صفراء أو برتقالية (الكاروتيونويدات) وأن الكثير من الطحالب يحتوي على أصباغ حمراء أو قرمزية. إلا أن جميع النباتات القادرة على القيام بعملية التمثيل الضوئي وجدت جميعها تحتوى على الكلوروفيل، وأن الكلوروفيل وحده من بين النبات هو القادر على امتصاص الأشعة الحمراء. ولما كانت عملية التمثيل الضوئي تتم بسهولة ويسر في الأشعة الحمراء الخالصة، فلابد إذا أن امتصاص الكلوروفيلل للضوء كان بقدر كاف لإتمام التمثيل الضوئي.

ومن هذه الحقيقة العملية لم يبق هناك سوى خطوة واحدة قصيرة لافتراض أن الكلوروفيل هو العنصر الهام في عملية التمثيل الضوئي.

ومع ذلك، فإن أهمية الكلوروفيل نفسه قد تزعزعت حديثا عندما وجد أن الطاقة الضوئية التي تمتصها الصبغة الصفراء تستخدم أيضا في عملية التمثيل الضوئي– كما حدث في اجتماع الجمعية الأمريكية لتقدم العلوم بشيكاغو أن قدم ل. ب بلينكس، بجامعة ستانفورد، الدليل على أن الضوء الذي تمتصه الصبغة الحمراء في بعض الطحالب الحمراء أقوى تأثيرا في عملية التمثيل الضوئي من الضوء الذي يمتصه الكلوروفيل– ولو ثبت ذلك فعلا لوجب أن نفترض أن الأصباغ الحمراء تسهم في عملية التمثيل مباشرة وليست كتابع للكلوروفيل. ولإدراك أهمية هذه الملاحظة يجب أن تتذكر أنه قد قدر ٩٠٪ من عملية التمثيل الضوئي على الأرض تقوم بها طحالب البحر المتعددة الألوان وليست النباتات البرية الخضراء.

وهكذا نقترب من تكوين صورة أكثر وضوحا للخطوات التي تتم في المرحلة الضوئية للتمثيل الضوئي، كما حصلنا حديثا على بعض المعلومات عن المراحل اللاضوئية وتتم العملية كلها كما لاحظنا على خطوتين منفصلتين متتاليتين– الأولى أكسدة الماء وانطلاق الأكسجين منه بينما الأيدروجين بناتج وسط. والثانية اتحاد ثنائي أكسيد الكربون مع الأيدروجين لينتج مواد كربوايدراتية– ويبدو أن لكل خطوة عواملها المساعدة الخاصة. ويوضح الرسم التالي هاتين الخطوتين وعلاقتهما بعضهما ببعض، وفيه تبدو الخطوتان كقدمين والكلوروفيل على هيئة جسر موصل بينهما. وتبدأ إحدى الخطوتين (القدم اليمنى) بجزيئات غاز ثنائي أكسيد الكربون وهذه تتحد أولا أو تثبت بصورة قابلة للاختزال، ربما عن طريق تفاعل أنزيمي ينتج عنه حامض عضوي. ثم يختزل ثنائي أكسيد الكربون المتحد بوساطة ذرات الأيدروجين التي يمده بها الكلوروفيل في الضوء بعد نزعها من الماء في الخطوة الأخرى. ويتبع الاختزال تحويلات أنزيمية أخرى تنتهي بتكوين جزئ كربوايدرات.



يمكن تصور التمثيل الضوءي بنموذج على هيئة حرف **H** في القدم الرأسية اليسرى بفقد الماء الأيدروجين فينطلق الأكسجين. ثم ينقل الأيدروجين إلى ثنائي أكسيد الكربون بفعل الضوء والكلوروفيل وينتج عن اختزال ثنائي أكسيد الكربون مواد كربوايدراتية (في قاعدة القدم اليمنى بالرسم). وتوضح الأقواس التفاعلات الوسطى والمركبات غير المعروفة.

وفي القدم اليسرى بالرسم التوضيحي نجد اتحادا مماثلا يحدث لجزئيات الماء يتبعه نزع ذرات الأيدروجين في وجود الضوء ثم يتبعه تحويل ما تبقى من الجزئ إلى أكسجين منطلق بفعل الأنزيمات، ربما عن طريق تكوين مركب فوق الأكسيد كناتج وسط مشابه لفوق أكسيد الأيدروجين وليس مطابقا له.

وتدرس بعض هذه التفاعلات حاليا بالنظائر المشعة. ويهمنا في الموضوع كله مصير ثلاث ذرات هي الأيدروجين والكربون والأكسجين– فبالنسبة للأيدروجين فقد توفر لدينا النوع الثقيل غير المشع H^2 من قبل الحرب الأخيرة– أما الترتييوم ضعيف الاشعاع H^3 فليس متوافرا تماما.

وهناك ثلاثة نظاهر للكربون– النوع القصير العمر C^{11} والنوع الطويل العمر C^{14} والنوع غير المشع C^{13}. ويعتبر النوع C^{14} الذي اتجه المفاعل الذري بمحطة أدك ريدج أكثر الأنواع ملاءمة للغرض. ومما يدعو للأسف أنه ليس للأكسجين نظير مشع معروف والطريقة الوحيدة لدراسة مصير هذا العنصر الهام هي عن طريق النظير المستقر O18– والكربون المشع أداة هامة لدراسة اختزال ثنائي أكسيد الكربون إلى كربوايدرات، ولا يقل الأكسجين المشع عنه أهمية في دراسة أكسدة الماء. وربما ساعد الأيدروجين المشع على اقتفاء أثر الخطوات التي تتم في الجسر الموصل بين هاتين الخطوتين بما في ذلك العملية الضوء كيميائية الأولية.

ونبدأ الآن بدراسة اختزال ثنائي أكسيد الكربون أولا، فنجد أن هذه العملية تتكون من خطوة لا ضوئية للتثبيت يليها اختزال ضوء كيميائي مباشر، أو غير مباشر، ثم التحول الأنزيمي الأخير، ويحتمل أن يحدث على عدة خطوات متتالية. والخطوتان اللتان يمكن استخدام الكربون المشع فيهما واضحتان: إذ يمكن استخدامه أما في الظلام بفرض التعرف على ناتج التفاعلات اللاضوئي التحضيري– وأما في الضوء للتعرف على النواتج الوسطى التي تحدث في الضوء. وعلى قدر زمن التعرض للضوء تتوقع وجود الكربون المشع الموزع على النواتج الوسطى المختلفة والنواتج النهائية لعملية التمثيل الضوئي–كالسكريات والنشا والبروتينات... الخ.

وقد بدت الدراسة الأولى سهلة، وقام بها عدد من الباحثين في معمل النظائر المشعة بجامعة كاليفورنيا وهما صامويل روبين (الذي توفي في حادث في المعمل أثناء الحرب) ومساعدوه مستخدمين C^{11} القصير العمر- وميلفين كالفين ومساعدوه مستعينين بالكربون C^{14} الطويل العمر. وكانت النتائج مشجعة حيث وجدا أن النبات امتص ثنائي أكسيد الكربون المشع في الظلام- وكان يبدو لأول وهلة أن هذا الامتصاص ما هو إلا إضافة ثنائي أكسيد الكربون دون اختزال إلى جزئ عضوي كبير ليكون حامضا عضويا كما كان مقترحا من قبل. وفي تجارب أخرى أحدث من السابقة وجد الكربون المشع في مركبات كثيرة مختلفة، بما في ذلك مواد مختزلة اختزالا كليا أو جزئيا كالبروتينات والسكريات، ولما كانت الكمية الممتصة أكبر بكثير في حالة تعرض النبات للضوء قبل تعريضه لثنائي أكسيد الكربون المشع في الظلام فقد اقترح كالفن أن عملية الاختزال كلها هي عملية لا ضوئية، أو بمعنى آخر أن الكلوروفيل يكون في الضوء عاملا مختزلا قويا غير معروف كنهه، يتولى بعد ذلك اختزال ثنائي أكسيد الكربون إلى آخر المرحلة ليكون مواد كربوايدراتية دون مساعدة الضوء.

وتتعارض هذه النظرية مع بعض الحقائق الثابتة. فقد وجد مثلا أن التقديرات المانومترية لا تظهر أي امتصاص ذي قيمة لثنائي أكسيد الكربون أو انطلاق للأكسجين يقوم به النبات بعد أن يحرم من الضوء. هذا بالإضافة إلى ظهور تعليل حديث لنتائج كالفن عندما اكتشفت عمليات تمثيل عديدة في أنسجة الحيوان، وبالمثل في النبات تشتمل على امتصاص لثنائي أكسيد الكربون. واقترح نقاد نظرية كالفن أن الظاهرة التي لوحظت في بركلي هي من هذا القبيل ولا تمت للتمثيل الضوئي بصلة.

وقام فريق آخر من الباحثين بجامعة شيكاغو وهم هانس جافرون، أ. هـ. بروان، ى. فراجر ببحث المشكلة من وجه آخر، وذلك بتقصي أثر النواتج التي تتكون في الضوء وحصلوا على نتائج أقل تضاربا. فقد درسوا توزيع الكربون المشع C^{14} في النبات بعد فترة تعرض للضوء، ووجدوا أنه كلما قصرت هذه الفترة كانت درجة تركيز الكربون المشع في بعض مكونات النبات الكيميائية أكبر؛ وهي المحتويات التي تتميز

بذوبانها في الماء وعدم ذوبانها في الكحول. وكان الغريب بخصوص هذا المركب المشع المجهول المركز في هذه المحتويات أنه لم يختف حتى بعد ساعات التمثيل اللاضوئي. وعلى العكس انتقل الكربون المشع بسرعة إلى محتويات أخرى بمجرد تسليط الضوء على النبات، وهنا يتضح وجود مركب مختزل وسط لثنائي أكسيد الكربون، وهو أول مركب يكتشف في المعمل. كانت المهمة التالية هي فصل هذا المركب الجديد والتعرف عليه. ويتطلع جميع المشتغلين بالتمثي الضوئي باهتمام بالغ إلى نتائج مثل هذا الاكتشاف الهام.

وقد استخدم صامويل روبين ومارتن كامن نظير الأكسجين في دراسة التمثيل الضوئي وحصلا على نتائج هامة. وبرهنا باستخدام ثنائي أكسيد الكربون والماء المحتويين على الأكسجين الثقيل، على أن كل الأكسجين المنطلق في عملية التمثيل الضوئي ناشئ عن الماء وليس عن ثاني أكسيد الكربون. وتعتبر هذه النتيجة مثل رائع للنتائج التي يتيحها لنا استخدام النظائر. هذا وكانت نتائج هذين الباحثين متفقة مع النظرية القائلة بأن التمثيل الضوئي لا يخرج في جوهره عن مجرد عملية نقل لذرات الأيدروجين من الماء إلى ثنائي أكسيد الكربون تاركة الأكسجين جانبا.

ومن بين النظريات الحديثة في عملية التمثيل الضوئي الغامضة لا نجد ما هو أكثر تشجيعا من تلك التي قامت على الكشف الهام الذي قام به ي. هيل بجامعة كامبردج عام ١٩٣٧ فقد كان معروفا منذ أمد بعيد أن أوراق النبات الجافة المصحونة عندما تمزج بالماء وتعرض للضوء تطلق أحيانا كمية ضئيلة من الأكسجين، ولو أنها لا تكون مواد كربوايدراتية بالطبع. وقد وجد هيل أن انطلاق الأكسجين يمكن أن يزيد ويستمر لمدة ساعة أو أكثر إذا ما زود مزيج الأوراق الجافة مع الماء ببعض أكسلات الحديديك أو أي ملح حديدكي آخر. كما أظهر الدراسات التي قام بها آخرون بعد ذلكأنه يمكن استبدال أملاح الحديديك بالكينون أو ببعض الأصباغ. وتشترك هذه المركبات كلها في خاصية واحدة وهي كونها عوامل مؤكسدة قوية نسبيا– فهي تقبل ذرات الأيدروجين أكثر مما يقبلها ثنائي أكسيد الكربون. وأقرب تفسير لهذه النتائج إلى الصواب أنه

عندما تجفف الأوراق وتصحن نحصل على مركب ما يزال يحتفظ بالجسر الكلوروفيللي والتكوين الأنزيمي اللازم فنتاج الأكسجين (القدم اليسرى في الرسم التوضيحي)– إلا أنه فقد التكوين الأنزيمي للقدم اليمنى– ولذا تكون لهذا المزيج القدرة على أكسدة الماء وإطلاق الأكسجين في الضوء، غير أنه يكون غير قادر على اختزال ثنائي أكسيد الكربون وتكوين مواد كربوايدراتية. فمن غير مساعدة الأنزيمات يعجز ثنائي أكسيد الكربون عن القيام بوظيفة قبول الأيدروجين، غير أن التفاعل يأخذ مجراه بالاستعاضة عن ثنائي أكسيد الكربون بمركب أكثر استعدادا لقبول الأيدروجين (مثل مركب الحديديك).

وبذا كان هناك في الواقع تمثيل ضوئي دون ثاني أكسيد الكربون وقد قدمت الدراسات المجهرية دليلا جديدا، يتلخص في أن جميع الخلايا التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي في كل النباتات تقريبا، تحتوي على الكلوروفيل، وأصباغ أخرى مماثلة، موجودة في أجسام مجهرية تسمى الكلوروبلاستيدات. وثبت بالتجارب الدقيقة أن هذه الأصباغ تتركز داخل الكلوروبلاستيدات في أجسام متناهية الصغر (حويصلات) لا ترى بالمجهر العادي، ولكنها تظهر بجلاء تحت المجهر الإلكتروني وبتحليل مزيج هيل وجدت أجزاؤها كلوروبلاستيدات صحيحة أو متكررة أو حويصلات منفصلة. وعلى ذلك فالحويصلات هي حجر الأساس في التركيب الأنزيمي للتمثيل الضوئي الذي يسمح بإطلاق الأكسجين في الماء في الضوء، ولكنها لا تحتوي على الأنزيمات اللازمة التي تمتص ثنائي أكسيد الكربون وتختزله. وهكذا قام الدليل القاطع على استقلال التكوينين الأنزيميين.

وتعتبر تجارب هيل أكبر صفعة تلقتها للآن الصورة السابقة للتمثل الضوئي كوحدة غير قابلة للتجزئة.

هذا ولم يتمكن العلماء للآن من إثبات عكس هذه العملية أو استبعاد القدم اليسرى لجهاز التمثيل الضوئي مع الاحتفاظ بوظيفة القدم اليمنى؛ غير أنه وجد في الطبيعة شيء قريب الشبه بذلك. فهناك بعض الكائنات التي لها القدرة على اختزال

ثنائي أكسيد الكربون في الضوء إلا أنه ينقصها القدرة على استخدام الماء كعامل مختزل وتستخدم بدلا منه كبريتد الأيدروجين والثيوكبريتات أو حتى الايدروجين الجزيئي الحر.

وهناك فصائل من البكتريا الأرجوانيية أو الخضراء اللون تحتوى على صبغة تسمى الباكتريوكلورفيل قريبة الشبة جدا بكلوروفيل النباتات الخضراء؛ وتنمو هذه البكتريا في المياه الكبريتية أو الأجواء المحتوية على عوامل مختزلة. وقد برهن العالم الميكروبيولوجي الهولندي كورنيليوس فان نيل، على أنها قادرة على تكوين موادها العضوية من مواد غير عضوية في وجود الضوء– واقترح التفاعل التالي العام لتوضيح تمثيلها الضوئي.

$$\mathbf{2\,R\,H_2 + CO_2 \xrightarrow[\text{Light}]{\text{Bac eriochlorophyll}} C\,(H_2\,O)_2 + 2\,R}$$

وتشبه هذه المعادلة الكيميائية تلك التي توضح التمثيل الضوئي للنباتات الخضرية إلا أنها أكثر عموما حيث أن **R** يمكن أن ترمز لمجموعات مختلفة مكونة من ذرة واحدة أو مجموعة من الذرات غير المشبعة كيميائيا. فإذا اعتبرنا أن **R** ترمز لذرة أكسجين كانت العملية تمثيلا ضوئيا للنبات، وإذا كانت ترمز لذرة كبريت فإنها عملية تمثيل ضوئي للبكتيريا الكبريتية وهكذا.

وبضربة واحدة زعزع تفسير فان نيل لنشاط البكتريا الأرجوانية وأسقط التمثيل الضوئي للنباتات الخضرية من مكانة الفريد في الكيمياء البيولوجية ووضعه ضمن الأنواع المختلفة من عمليات التمثيل الضوئي. فهل يشير هذا الاكتشاف إلى أن البكتيريا الأرجوانية والخضراء هي أسلاف النباتات الخضراء بقايا عصر كانت فيه الحياة على الأرض مقصورة على تلك الأماكن التي توافرت فيها المختزلات غير العضوية؟ عصر ربما كانت فيه قشرة الأرض أقل استقرارا من الناحية الكيميائية مما هي عليه الآن وكان كبريتيد الأيدروجين والكبريت وربما الأيدروجين الحر متوافرين أيضا.

وقد أتاح التشابه بين تمثيل البكتريا الأرجوانية وبعض البكتريا القديمة اللون، التي لها القدرة على اختزال ثنائي أكسيد الكربون بوساطة نفس المواد المختزلة أو شبيهتها

دون الضوء، منفذا لدراسة عملية التمثيل. فهي تستخدم الطاقة الكيميائية المتولدة عن الأكسدة الأنزيمية لهذه المواد المختزلة بوساطة أكسجين الهواء بدلا من الضوء؛ وربما اعتبرت هي الأخرى بقايا أو مخلفات لحياة أكثر بدائية. هذا وقد وجد هانز جافرون في عام ١٩٣٩ إنه إذا حرمت بعض أنواع الطحالب الخضراء الوحيدة الخلية من الأكسجين فإن قدرتها على التمثيل الضوئي المألوف تتوقف، غير أنه تكون لها القدرة على اختزال ثنائي أكسيد الكربون في الضوء إذا توافر لها الأيدروجين كعامل مختزل بدلا من الماء. ويبدو أن نقص الهواء يدفع هذه الطحالب لتحاكي البكتريا الأرجوانية التي يمكنها هي الأخرى استخدام الأيدروجين كعامل مختزل.

وهكذا تبدو معلوماتنا عن التمثيل الضوئي كمن يسافر إلى بلد غريب وعندما يطلع عليه النهار يبدأ ضباب الفجر في الزوال ببطء وتبدأ معالم المدينة في الظهور، كم يكون منظرها مشوقا في ضوء النهار البراق!

تعليق الناشر الإنجليزي

يسرنا أن نذكر أنه منذ إعداد هذا المقال عن التمثيل الضوئي أمكن إحراز الكثير من التقدم في التعرف على نواتج التفاعل الوسطى، ويرجع الفضل في ذلك إلى استخدام النظائر المشعة وطريقة الكروماتوجراف ورق الترشيح.

والطريقة المتبعة في الكروماتوجراف هي وضع خلاصة مستخرجة من الخلايا التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي على طرف صفحة من ورق الترشيح، ثم يسمح لمذيب بالانتقال من هذا الطرف على طول الورقة، حاملا معه وإلى مسافات متباينة المركبات التي أذابها من الخلاصة. وبذا يمكن فصل هذه المركبات على هيئة بقع على الكروماتوجراف توطئة لتحليلها كيميائيا، فإذا زودنا الخلايا بذرات من الكربون المشع وجعلناها تقوم بعملية التمثيل الضوئي لفترات قصيرة مختلفة أمكن بوساطة الكروماتوجراف تحديد الترتيب الذي تتكون به نواتج العملية.

وقد أوضحت الطرق الجديدة المستعملة، أن من أهم المركبات المتكونة حامض الفوسفوجليسريك الذي يتكون بعد خمس ثوان فقط من بدء عملية التمثيل الضوئي. وباستمرار العملية فترات أطول تتكون مشتقات سكرية مختلفة من حامض الفوسفريك، الفوسفوربيروفيك، والسكروز وحامض أميني هو ألانين، ويبدو أن المواد الكربوايدراتية ليست هي النواتج المباشرة لعملية التمثيل فقط، إذ أن حامض الفوسفوجليسريك سرعان ما يتحول إلى مركبات أخرى ينتج عنها مركبات النبات الأساسية الأخرى مثل البروتينات والدهون. وتتوقف طبيعة النواتج النهائية على احتياجات النبات في مراحل نموه والظروف المحيطة به.

تثبيت النيتروجين

مارتن. د. كامن

يدخل النيتروجين في غذاء جميع الكائنات الحية على الأرض حيوانا كانت أم نباتا. ويحتوي جو الأرض على كمية من النيتروجين أكبر بكثير مما تتطلبه الحاجة، فهناك عشرون مليون طن منه في الهواء الموجود فوق كل ميل مربع من سطح الأرض، غير أن النيتروجين الحر الموجود في الهواء يصعب تحويله إلى غذاء، حتى أنه يتحتم على الإنسان أن يعمل جاهدا ليحفظ تلم الكمية الضئيلة منه التي تستولى عليها الطبيعة وتثبتها في التربة.

ومن حسن حظ البشرية أن النيتروجين عنصر خامل كيميائيا، ولو قدر له أن يتحد مع مواد أخرى غير ما يتحد به الآن (وفقا لموضعه الديناميكي الحراري) فربما اتحد بقوة مع الماء مكونا حامض النتريك وقد صرح علماء الديناميكا الحرارية قائلين: "نرجو ونأمل ألا تكتشف الطبيعة عاملا مساعدا لمثل هذا التفاعل، وألا تحولت المحيطات إلى حامض نتريك مخفف، وجابه العالم كارثة لا تقل هولا عما تتوقعه البشرية من نتائج حرب ذرية".

وتتولى الطبيعة وخز النيتروجين لتخرجه من خموله الكيميائي وتعده للتفاعل السريع فيما بعد وذلك عن طريق دورة معقدة. وهناك بعض الكائنات الحية في الماء وفي التربة تدعي "مثبتة النيتروجين" تستولى على نيتروجين الجو غي المتحد وتحيله إلى مركبات عضوية تصلح غذاء للنبات والحيوان. وتقوم كائنات أخرى بتحويل هذا النيتروجين العضوي إلى نترات ضرورية للنبات. كما أن هناك غيرها من الكائنات التي تحلل الكائنات الميتة وتعيد النيتروجين إلى الهواءبالتالي، ويفقد بعض النتروجين في البحر

عنج صرف التربة وعن طريق المجاري.

ويسبب تسرب النيتروجين إلى الجو مشكلة من أهم المشاكل بالنسبة لاستمرار الحياة على الأرض. وقد حاول الإنسان جاهدا أن يوقف هذا التسرب بطرق صناعية تكفل الاستيلاء على هذا النيتروجين، إلا أن هذه الطرق باهظة التكاليف، كما أنها لم تنجح إلا في تكوين أبسط مركبات النتروجين كأملاح النوشادر والنترات والبولينا والسياناميد. ومازلنا نعتمد كلية على المائنات مثبتة النتروجين لتعويض ما يفقد من النتروجين، ولتكوين مركباته التي يحتاج إليها النبات والحيوان.

ولا تقل أهمية دورة النتروجين في الطبيعة بالنسبة لنا عن دورة الكربون في التمثيل الضوئي، وفيها يستولى النبات على ثنائي أكسيد الكربون من الجو ويتحول الكربون إلى مركبات عضوية وتعمل مثبتات النتروجين وكائنات التمثيل الضوئي معا بتضامن عظيم لاستمرار بقاء الحياة على الأرض.

ونتساءل: من هم حلفاء الإنسان الطبيعيون في كفاحه للاستيلاء على النتروجين من الجو وكيف يقومون بهذا العمل؟ وجلى أن هذه مسألة حيوية للإنسان. ولسوء حظنا أن ما نعرفه عن تثبيت النتروجين أقل بكثير عما نعرفه عن التمثيل الضوئي، ومع كل فقد تقدمت معلوماتنا في السنوات الخيرة عن مثبتات النتروجين تقدما أكبر مما حصلنا عليه عن طريق الأبحاث السابقة التي أجريت على هذا الموضوع.

وكان الاعتقاد السائد إلى عام ١٩٤٩ أن لكائنات قليلة جدا المقدرة على تثبيت النتروجين. وكانت البكتريا التي تنتمي إلى فصيلة الرايزوبيوم التي تنمو على العقد الموجودة في جذور النباتات البقلية مثل البسلة والشعير والشوفان هي المعروفة لنا. كما كانت هناك بعض الكائنات الحية التي تعيش وحدها وتتبع فصيلة الأزوتوباكتر التي معناها البكتريا المثبتة للنتروجين، والتي تعيش جون أكسجين مثل فصيلة الكلوستريديوم التي تسبب بعض أفرادها الغنعرينا الغازية والتيتانوس. وأخيرا النباتات البدائية التي تسمى بالطحالب الزرقاء الضاربة للخضرة، وكان يعرف عنها أنها تقوم بتثبيت

النتروجين تحت ظروف خاصة.

وفي عام ١٩٤٩ والفترة التي تلته مباشرة انهال سيل من الاكتشافات التي أظهرت عددا لا حصر له من الكائنات مثبتة النتروجين، بدأت كلها بمحض المصادفة عندما كان هوارد جست وكاتب هذا المقال يبحثان موضوعا يبدو أنه لا يمت بصلة لعملية تثبيت النتروجين.

فقد كانا يبحثان في تمثيل الفوسفات في البكتريا الأرجوانية رودوسبيريلوم روبرام. والرودوسبير يلوم هذه إحدى الفصائل العديدة لبكتريا التمثيل الضوئي وتعتمد، مثل النباتات الخضراء، على الضوء لنموها ولكنها تنتج ثنائي اكسيد الكربون هي الأخرى عند تمثيلها للمواد العضوية. وقد حاولا معرفة طبيعة المواد العضوية التي تخزن فيها هذه البكتريا الطاقة الضوئية. وبالمقارنة بما كان معروفا من التفاعلات التي تصاحب انقباض العضلات، استنتجه أنه ربما كان لبعض المواد الفوسفورية دخل في التفاعل. واستخدما في محاولتهم للتعرف على هذه المركبات نظيرا مشعا للفوسفات زودا به خلايا الرودوسبيريلوم في وجود الضوء. ووجدا أنه عندما تنمو هذه الكائنات في الوسط المألوف تنتج كميات كبيرة من مركبات فوسفورية غير مستقرة سرعان ما تفككت عند فصلها توطئة لتحليلها كيميائيا. وأصبح غير مستطاع التكهن بما إذا كان الرودوسبيريلوم قد استخدم النظير المشع أم لا. وكان عليهما أن يبحثا بعد ذلك عن وجبة تسمح لهذه الخلايا بتكوين أقل كمية ممكنة من الفوسفات تلزم لنموها. ولحسن الحظ كان س. هـ. هنتر بمعامل هاسكنز بنيويورك قد استنبط وسطا صناعيا خالصا لنمو الروبرام يفي بالغرض بعد تقليل كمية الفوسفات المحتوى عليها.

وكان صيف سانت لويس القاسي يقترب، فقصد جست إلى محطة هوبكنز للأحياء المائية في باسيفيك جروف بكاليفورنيا لإجراء التجارب الجديدة. وزرع جست الروبرام على وسط هنتر المعدل في قوارير ذات سدادات زجاجية مستخدما ملحا صوديوميا لحامض الماليك كمصدر للكربون. وعندما يمثل الروبرام أملاح حامض الماليك ليأخذ الكربون يطلق الصوديوم القلوي وبعض ثنائي أكسيد الكربون. ولما كان

غاز ثنائي أكسيد الكربون قابلا للذوبان في القلويات، فإنه يذوب في السائل؛ غير أن جست وجد أن كميات كبيرة من غاز ما تكونت في القوارير، وظهرت على شكل رغوة كثيفة فوق سطح السائل، وسرعان ما تحقق أن الغاز هو غاز الأيدروجين؛ وكان الروبرام ينتج أيدروجينا بقدر ما ينتج ثنائي أكسيد الكربون. ولم يكن تكون الأيدروجين قد لوحظ من قبل أثناء التمثيل الضوئي، بل كان معروفا أن لهذه البكتريا جهاز خاص للاستفادة من الأيدروجين الجزيء في وجود ثنائي أكسيد الكربون.

وفي الخريف بحث جست وكاتب هذا المقال عن السر في هذه الظاهرة فبعد أن بدأت القصة ببحث مألوف عن التغذية بالفوسفات، تطور الموضوع إلى بحث مخالف تماما؛ فتركا المألة الرئيسية ليبحثا هذه الظاهرة الجديدة.

وسرعان ما اكتشفا أنه عندما تستخدم أملاح النوشادر كمصدر نتروجيني للبكتريا بدلا من حامض الجلوتاميك في محلول هنتر يمتنع انطلاق الإيدروجين. وقد سهلت هذه الملاحظات ايجاج تعليل مقبول لعدم مشاهدة تكوين الأيدروجين من قبل في البحوث الكثيرة التي أجريت على مزارع الروبرام، إذ كان المتبع في مثل هذه البحوث استخدام النوشادر كمصدر للنتروجين، وكان استخدمهما الخاطئ لحامض الحلوتاميك، بدلا من النوشادر في وسط هنتر، سببا في اكتشاف قدرة الروبرام على تكوين الأيدروجين عن طريق التمثيل الضوئي.

كما علما أنه يمكن تنشيط إنتاج الأيدروجين بأحماض أمينية أخرى ومجموعة كبيرة من المركبات الكربونية بدلا من حامض الجلوتاميك. إلا أن رأيهما استقر على استخدام حامض الماليك الموجود في التفاح كمادة اختيارية، وحاولا تقدير حجم الأيدروجين وكمية الكربون التي تكونها البكتريا، واستعملا في القياس مانومترا خاصا وملآ وعاء المانومتر، كما هو متبع، بغاز النتروجين الخامل. وهنا اعترتهما الدهشة الثانية عندما توقفت الميكروبات التي كانت تطلق الأيدروجين في قوارير المزرعة عن اطلاق الغاز عند نقلها إلى أوعية المانومتر، واعتقدا في بادئ الأمر أن احتمال وجود بعض الشوائب في النتروجين، كبعض آثار من الأكسجين أو احادي أكسيد الكربون، ربما يرجع إليه

السبب في هذه الظاهرة. وبعد أسابيع من الأبحاث والتجارب المضنية التي تخللتها تنقية دقيقة للنتروجين، اتضح أن هذا الافتراض لم يكن صحيحا وأنه لا دخل لهذه الشوائب في الموقف.

وأخيرا قررا استبدال النتروجين في أوعية المانومتر بغازات أخرى خاملة كالهليوم والأرجون– وهنا استأنف الروبرام اطلاق الأيدروجين من جديد– ووجدا أيضا أن أضافة القليل من النتروجين إلى الأرجون أو الهليوم يوقف إطلاق الأيدروجين فورا. ويستنتج من ذلك أن تأثير غاز النتروجين على إطلاق الأيدروجين مشابه تماما لتأثير النشادر.

وقد أوحت هذه الظاهرة بأنه ربما كانت للروبرام القدرة على تثبيت النتروجين، وفعلا دلت التجارب التي أجريت فيما بعد على صحة هذا الفرض وبدأ التفكير يتجه إلى احتمال وجود أنواع أخرى من بكتريا التمثيل الضوئي لها نفس القدرة؛ إذ كان معروفا مثلا أن هناك بكتريا أرجوانية كبريتية تتبع فصيلة كروماتيوم تولد الأيدروجين بطريقة مماثلة لتلك التي شوهدت في الروبرام وأن توليد الأيدروجين يبدو عاما لكل البكتيريا ذات التمثيل الضوئي.

وسرعان ما برهن ولسون وبوريس ولندستروم من جامعة وسكونسين وبشود وسنيلي ودوجلاس من جامعة واشنطن أنه ليس الروبرام وحده القادر على تثبيت النتروجين، بل أن هناك عدة فصائل من بكتريا التمثيل الضوئي لها نفس القدرة على تثبيت النتروجين.

والآن تترك المقال عند هذا الحد لنعلق على إحدى الفقرات التي وردت في مقال حديث لكاتبه هـ. دركس بمعمل تروب بأندونيسيا. فقد أشار دركس أنه عندما اكتشف البكتريولوجي الهولندي م.و. بيجرنك الأزوتوباكتنز عام ١٩٠١ أخذ بالشبه الغريب بين هذه البكتريا وبكتريا التمثيل الضوئي المعروفة بالكروموتاتيوم. ورغم أنه كان معروفا أن الكروماتيوم لا يثبت النتروجين، إلا أن بيجرنك كان مقتنعا بقوة بأنه لابد زاجد

علاقة وثيقة بين الأثنين. ونرى الآمن كيف كانت تكهناته مبنية على أساس متين، إذ ثبت أن كلا من الأزوتوباكتر والكروماتيوم مثبت للنتروجين. ويعتبر هذا مثلا طيبا يستدل منه على أن تكهنات العلماء الأفذاذ ببجرنك تتعمق أكثر مما تبدو لأول وهلة، وأن الاكتشافات العلمية قلما تفشل في البقاء أمامهم.

وقد دفع الظهور المفاجيء لعملية تثبيت النتروجين في مجموعة من الكائنات متباينة تباينا كبيرا، وواسعة الانتشار مثل بكتريا التحليل الضوئي– دفع هذا الظهور– إلى إعادة النظر في تقسيم البكتريا وتصنيفها. فكثير من الكائنات التي كانت تعرف بالأزوتوباكتر لمقدرتها على تثبيت النتروجين تختلف عن فصيلة الأزوتوباكتر الأصلية في المظهر، ودرجة تركيز أيون الأيدروجين التي تتطلبها ونوع المزرعة التي تكونها.. وهكذا.

ولما لاحظ ديركس كثرة انتشار صفة تثبيت النتروجين عارض في اعتبار هذه الصفة عاملا هاما في تقسيم البكتريا وتصنيفها– واقترح أن تصنف بعض أنواع هذه البكتريا على أساس الصفة التشريحية والفسيولوجية، وأن يكون لها فصيلة خاصة اقترح لها الاسم: بيجرنكا.

ويزداد على مر الأيام عدد أنواع البكتريا التي لها القدرة على تثبيت النتروجين. وقد درس ويلسون، د. روزنبلوم بكتريا الكلوستريد يوم باستخدام النظائر المشعة، ووجدا أن الزعم بقيام فصائل قليلة من هذه الكائنات بتمثيل النتروجين زعم غير صحيح؛ فمن بين خمس عشرة فصيلة قاما بدراستها، وجدا أنها تقوم جميعها بتثبيت النتروجين عدا ثلاثة فقط. وفي عام ١٩٥١ حصل سيسلروكلود زوبل، بمعهد سكريب لعلوم البحار بكاليفورنيا، على ما يثبت قيام الكائنات التي تدعي مختزلة الكبريتات والتي تتبع فصيلة الديسلفوفيبريو بعملية تثبيت النتروجين. وتنتعش هذه البكتريا إذا ما اختفى الأكسجين تماما من الوسط الذي تعيش فيه. وكان بيرجيرنك قد عزلها لأول مرة في عام ١٨٩٥ من طمي القنوات ومن التربة، كما وجدت منذ هذا الحين في الرواسب البحرية، وفي رواسب آبار الزيوت على أعماق سحيقة، وفي الماء الموجود في قاع خزانات الجازولين وجهات أخرى متفرقة. وكثيرا ما تكون هذه البكتريا مسئولة عن صدأ

المواسير الحديدية، وتحطيم الأسمنت السملح، وهلاك عدد هائل من الأسماك في المحيطات وغير ذلك من أوجه التلف والدمار. ولهذه البكتريا القدرة على تكوين الكبريتيدات والكبريت والمركبات الكبريتية العضوية كنواتج لعملية التمثيل التي تقوم بها، كما أن لمزارعها رائحة البيض الفاسد.

وللتحقق من تمثيلها للأيدروجين زرع سيزلروزوبل هذه الكائنات في زجاجات ذات سددات زجاجية محتوية على ماء البحر وملآها بغاز الأيدروجين في الفراغ فوق الماء؛ كما استعانا في تجاربهم المقابلة بزجاجات مليئة بغاز النتروجين بدلا من الأيدروجين، فوجدا أن النتروجين قد اختفى من الفراغ فوق السائل بدرجة لا يمكن تعليلها بذوبانه أو انتشاره في السائل. وأثبتت التجارب التي استخدم فيها النتروجين أن عملية تثبيت النتروجين أن عملية تثبيت النتروجين قائمة فعلا.

ومن المحتمل أن يكون هناك مثبتات أخرى للنتروجين تنتظر اكتشافها، ويكون العدد الذي اكتشف منها صورة مختلفة تماما عن الأمكانيات الهائلة في عملية جورة النتروجين. وتلعب الرايزوبيا التي تعيش على الجذور وغيرها من الميكروبات الأرضية التي عرفناها منذ وقت طويل دورا هاما في استمرار هذه الدورة. ويبدو الآن أن المحيطات ربما كانت مستودعات هائلة لتثبيت النتروجين، ويحتمل أن تقوم الكائنات الموجودة في البحار ومن ضمنها الطحالب الزرقاء الضاربة للخضرة بتثبيت كمية من النتروجين أكبر من تلك التي تقوم بها كائنات التربة. كما يحتمل أيضا أن يكون هناك تثبيت للنتروجين في الغابات والأستوائية والبرك والمستنقعات. وقد عرف منذ أمد بعيد أن حقول الأرز مثلا تظل خصبة لفترات طزيلة دون أن تزود بالسماد وقد وجد الباحث الهندي ب.ك دي في عام ١٩٣٨ أن بعض الطحالب الزرقاء التي تعيش في تربة حقول الأرز في الهند مثبتات نشطة للنتروجين، وخلص من ذلك إلى أنه يحتمل أن تكون هذه الطحالب هي العامل الرئيسي في بقاء هذه الحقول خصبة.

هذا وقد عززت الأبحاث التي أجريت على فسيولوجيا وتغذية مجموعة كبيرة من هذه الطحالب أهمية الطحالب الزرقاء، إذ يمكنها أن تعيش وتنمو في ظروف قاسية.

فكثيرا ما تكون هي أول الكائنات التي تستعمر مساحات جرداء لا حياة فيها مثل الصخور العارية والتربة. ونسوق على سبيل المثال أنه ما أن مرت بضع سنوات على ثورة بركان كراكاتوا في عام ١٨٨٣ حتى غطيت الحمم البركانية والصخور الطفلية بمستعمرات هائلة من الطحالب الخضراء الداكنة الهلامية. ومن المعتقد أن الطحالب الداكنة الخضراء تستعمر المياه العذبة أيضا؛ وتسبب هذه الظاهرة كثيرا من الضيق لأصحاب المنازل الذين يعمدون إلى تنسيق حجائقهم ببحيرات صناعية تنمو فيها هذه الطحالب القذرة وتتكاثر.

وتتشابه الكحالب وبكتريا التمثيل الغذائي من حيث مناعتها وقدرتها على التغير الفسيولوجي. ومن ثم يحتمل أن تكون خصوبة حقول الأرز الهندية راجعة لا إلى وجود هذه الطحالب فحسب كما اقترح «دي» ولكن إلى وجود بكتريا التمثيل الضوئي إلى حد ما.

وبذلك قد فتح لنا اكتشاف كائنات عديدة، تقوم بعملية تثبيت النتروجين، نوافذ عدة تتطلع منها إلى إمكان استغلال مقدرة هذه الكائنات يوما ما، كما فعلنا مع الرايزوبيا، وبذا نساعد دورة النتروجين التي تحدث في الطبيعة على تقوية التربة.

الباب الثاني

جزيئات الحياة

نبذة عن المؤلفين

١- البروتينات: بقلم/ جوزيف. س. فراتون

ولد جوزيف فراتون في بولندا، ثم ذهب إلى الولايات المتحدة الأمريكية كشاب صغير مع أسرته التي استقرت في مدينة نيويورك. وحصل على شهادة البكالوريوس والدكتوراه من جامعة كولومبيا. وعمل منذ حصوله على الدكتوراه لمدة أحد عشر عاما في معهد روكفلر للبحوث الطبية، حيث استنبط الكثير من الطرق المستخدمة في فصل وتحليل مكونات البروتين. وفي عام **١٩٤٥** عين فراتون بكلية العلوم بجامعة ييل حيث يشغل الآن وظيفة رئيس قسم الكيمياء الحيوية بها.

٢- تركيب البروتينات: بقلم/ ليناس بولنج وروبرت. ب. كوري وروجر هايوارد.

يكون كتاب هذا المقال فريقا غريبا– فبولنج هو مدير معامل جيتس وكريللين بمعهد كاليفورنيا الفني، وهو من العلماء البارزين في تطبيق طرق ونظريات الفيزياء على الكيمياء. وقد ساهم بمجهود كبير في زيادة معلوماتنا عن الروابط الكيميائية وتركيب الجزيئات والبلورات وكيمياء المناعة. ومنح درجات شرف عالمية تقديرا لأبحاثه من بينها جائزة نوبل في الكيمياء لعام **١٩٥٤**. وقد ولد في بورتلاند بولاية أوريجون في عام **١٩٠١**.

أما كوري فيعمل في كالتش وهو أخصائي في دراسات انشطار الأشعة السينية والألكترونات بوساطة البلورات– وقد ولد في سبرنجفيلد بولاية الينوي عام **١٨٩٧** ثم اتجه غربا إلى كالتش بعد أن مر بجامعة كورنيل ومعهد روكفلر للبحوث الطبية.

وهوارد خريج معهد ساشوستس الفني يعمل مهندسا في لوس أنجلوس ويهوى دراسة العلوم والرسم العلمي. وقد وضحت رسوماته عدة كتب علمية منها كمياء الجامعة لمؤلفه بولنج. وقد ولد بمدينة كين في عام **١٨٩٩**.

٣- جزيء الأنسولين: بقلم ي. و. ب. تومبسون

تومبسون عالم متخصص في الكيمياء الحيوية يعمل بمؤسسة الأبحاث العلمية والصناعات للكومنولث بأستراليا. وقد تخرج تومبسون بمرتبة الشرف الأولى من جامعة سيدني عام ١٩٥٤. وبعد أن أمضى خمس سنوات في التدريس والبحث حصل على منحة دراسية في جامعة كامبردج بانجلترا وعمل مع فردريك سانجر. وقد سجل تومبسون أبحاث سانجر على جزيء الأنسولين في هذا المقال. وبعد أن مكث في أمريكا بعض الوقت يبحث في تركيب البروتين بجامعة أوتاه بمدينة سولت ليك رجع إلى موطنه في استراليا، حيث يجرى أبحاثه على كيمياء الصوف «مادة بروتينية معقدة».

البروتينات

جوزيف. س. فراتون

«توجد في أنسجة جسم الحيوان والنبات مادة، هي بلا شك أهم مادة عرفت في الكائنات الحية، ودونها تتعذر الحياة على كوكبنا- هذه المادة هي البروتين».

هذا ما كتبه عالم الكيمياء الزراعية الهولندي جيرار جوهانس مالدر في عام ١٨٣٨ وقد ظهرت كلمة بروتين المشتقة من الكلمة اليونانية بروتيوس (أو أسمى درجة) لأول مرة في مقالاته العلمية. وكان قد اقترح عليه هذا اللفظ الكيميائي السويدي جونس جاكوب برزيليوس (الذي أدخل على الكيمياء ألفاظ عامل مساعد وبلمرة وغيرها من المصطلحات الأخرى).

وكان مالدر ومعاصره العالم الألماني جوستس فون ليبيج، يعتقدان أن البروتين مادة واحدة ذات وحدات تركيبية أساسية موجودة بنفس الشكل في مواد متباينة مثل بياض وفيبرين الدم وغيرها- إلا أنه سرعان ما ثبت خطأ هذا الرأي بعد أن وجد أن عدد وأنواع البروتينات لا حصر له- ومع هذا فقد كان مالدر على صواب عندما أكد أهمية البروتين للحياة.

والبروتينات هي إحدى ثلاثة من المركبات العضوية الأساسية التي تدخل في تكوين المادة الحية (المادتان الأخريان هما الدهون والمواد الكربوايدراتية) إلا أن البروتينات تفوقها من حيث أهميتها وفوائدها البيولوجية المتعددة؛ وهي تكون ما يقرب من نصف وزن الجسم الجاف (حوالي ٧٠٪ من وزن الجسم ماء) ويوجد في العضلات ما يزيد على ثلث كمية البروتين الموجودة في الجسم. ويكون البروتين المعروف بالمايوسين الألياف، وهي المادة التي تنقبض عند تحرك العضلات- ويوجد ما يقرب من ٢٠٪ من بروتين الجسم

في الغضاريف والعظام– وهنا يعطي البروتين، المعروف بالكولاجين، للهيكل العظمي صلابته وقوة احتماله.

ويحتوي الجلد على ما يقرب من ١٠٪ من بروتين الجسم. ويقي بروتين الجلد المعروف بالكيراتين الأنسجة الداخلية من البيئة الخارجية.

وتعتبر الأنزيمات أهم البروتينات كلها وهي موجودة في الجسم بكميات ضئيلة جدا إذا ما قورنت بالمايوسين والكولاجين أو الكيراتين. غير أنه لا غنى عنه في دفع وتوجيه تفاعلات الجسم التي لا حصر لها وسوف يجيء ذكرها بالتفصيل فيما بعد في هذا الفصل.

وبعض الهرمونات هي بروتينات أيضا؛ وهي المركبات العجيبة التي تنتج عن النشاط الأفرازي للغدد الصماء، والتي يحملها الدم بكميات ضئيلة جدا إلى أنسجة الجسم المختلفة حيث تلعب دورا حاسما في تنظيم سرعة التمثيل وتوجيهه. وهناك بروتينات أخرى، وهي الأجسام المضادة الموجودة في الدم والتي تقي الجسم ضد الفيروسات (التي هي أيضا بروتينات) والمواد الضارة الناتجة عن البكتريا المسببة للأمراض، وأخيرا الجينات وهي وحدات الوراثة، ويعتقد أنها تحتوي على نوع خاص من البروتينات يسمى النيكليوبروتينات.

وكلما تنوعت الوظائف تبعها تنوع مقابل في التركيب الكيميائي. وعدد البروتينات التي أمكن تحديدها كثيرة كثرة بالغة، وهي تزداد نموا بسرعة هائلة، ومن أهم المعضلات أمام علم الكيمياء الحيوية الحديث معرفة أي البروتينات موجودة في الأجسام الحية، ثم اختبار تركيبها الكيميائي وتفسير وظائفها البيولوجية على ضوء هذا التركيب.

ولدراسة التركيب الكيميائي لنوع معين من البروتين يتحتم تفكيك التنظيم الخلوي المميز للحياة ثم استخلاص البروتين بمذيب مناسب كمحلول الملح المخفف. غير أن هذه الطريقة تذيب الكثير من البروتينات الأخرى الموجودة في الخلية، وبذا تصبح عملية فصل البروتين المطلوب من المواد غير المطلوبة اختبارا دقيقا لمهارة الباحث وحسن حظه أيضا

في كثير من الأحوال. والبروتينات مركبات كيميائية سريعة التحلل وتفرض هذه الخاصية قيودا صارمة على نوع الطرق الي يلجأ إليها الكيميائي لفصل بعض هذه المركبات عن البعض؛ وبالتحكم الدقيق في العوامل المختلفة، مثل تركيز المحلول وتركيز الكحول ودرجة الحموضة والحرارة، يمكننا الحصول على ترسيب انتقائي لبروتين ما. هذا ومن الممكن حاليا فصل بروتين واحد من عشرات أو ربما مئات البروتينات الموجودة في خلاصة الأنسجة.. كما أمكن الحصول على عدة بروتينات على صورة بلورات، يمكن إعادة بلورتها عند الحاجة، وبذا يمكن تنقيتها بدرجة أكبر. ورغم أن البلورة لا تعتبر في حد ذاتها دليلا كافيا على نقاء البروتين، إلا أن الحصول على بروتين متبلور زود عالم الكيمياء الحيوية لأول مرة بمادة تصلح لدراسة التركيب الكيميائي لهذه المركبات.

وتتركب البروتينات أساسا من الكربون والأيدروجين والأكسجين والنتروجين، ويعتبر النتروجين الذي يكون من ١٢- ١٩% من الجزيء العلامة المميزة للبروتينات. كما تحتوي معظم البروتينات على كمية ضئيلة من الكبريت، ويحتوي كثير منها على بعض الفوسفور وقد لاحظ مالدر منذ أكثر من قرن مضى هذه النسب الضئيلة جدا من الكبريت والفوسفور في تحضيراته غير النقية، وخلص من ذلك إلى أن جزيء البروتين لابد وأن يكون هائلا، حيث أن كل جزيء يحتوي على ذرة واحدة من هذه اعناصر على الأقل. فالبروتينات بمعنى آخر جزيئات كبيرة (ماكرو موليكيولز) هذا ولم يتسن للعلماء إدراك مقدار كبر جزيئاتها، إلا بعد أن استنبطت الطرق الحديثة لتعيين أوزانها الجزيئية.

ومن أسهل الطرق التي يعتد بها في تعيين الأوزان الجزيئية نبذها في جهاز النابذ ذي السرعة الفائقة لمكتشفه عالم الفيزياء السويدي ذي سفيد برج، وتنبذ البروتينات في هذا الجهاز بسرعة ٧٠ ألف لفة في الدقيقة بقوة مركزية طاردة تعادل جاذبية الارض ٤٠٠ ألف مرة. وتندفع جزيئات البروتينات الكبيرة في هذا المجال إلى خارج مركز الدوران بسرعات مختلفة، وكلما كبرت الجزيئات وأدت سرعة اندفاعها ويمكن بوساطة جهاز ضوئي دقيق قياس سرعة ترسيب الجزيئات ومن يمكن حساب وزنها الجزيئي.

وقد دلت مثل هذه التقديرات على أن أصغر بروتين معروف أثقل من ذرة

الأيدروجين ثلاثة عشر ألف مرة، أو بمعنى آخر وزنه الجزيئي ١٣.٠٠٠. هذا وقد يصل الوزن الجزيئي للبروتينات الكبيرة إلى عشرة ملايين. وواضح أن تعيين التركيب الكيميائي لجزيئات بمثل هذا الحجم يعتبر كشطلة عويصة. ولكي نأخذ فكرة عن صعوبة هذه المشكلة نقارم جزيء بروتين بجزيء عضوي غير بروتيني، مثل زيء البنسلين الذي وزنه الجزيئي ٢٣٤ وتركيبه الكيميائي $C_{16}\ H_1\ O_4\ N_2\ S$

أن مثل هذا الجزيء المعقد يعتبر بسيطا إذا ما قورن بجزيء اللاكتوجلوبيولين، وهو بروتين اللبن ووزنه الجزئيي ٤٢.٠٠٠ وتركيبه التقريبي$C_{16}\ H_{3012}\ O_{57}\ N_{468}\ S_{21}$.

هذا ولم يتسن للعلماء معرفة تركيب البنسلين الكيميائي إلا بعد أعوام، من العمل المتواصل المتشرك بين علماء الكيمياء في شتى أنحاء العالم. وتتلخص الطريقة المألوفة في بحث هذه المعضلات في الكيمياء العضوية في الخطوات التالية.

١- إيجاد نسب ذرات العناصر الموجودة في المركب.

٢- تكوين فكرة معقولة عن ترتيب هذه الذرات داخل المركب عن طريق الخطأ والصواب.

٣- اختبار هذه النظرية بمحاولة تأليف الجزيء من مواد معروفة عن طريقة تفاعلات معروفة.

وبهذه الطريقة المثالية تمكن العلماء في الأعوام المائة الأخيرة من إيجاد التركيب الكيميائي لما يقرب من نصف مليون مركب عضوي، بينها الكثير مما تنتجه الكائنات الحية الدقيقة؛ أما بالنسبة لجزيء البروتين فان عدد ذراته كبير لدرجة لا تمكن من إيجاد تركيبه الجزيئي بهذه الطريقة.

كل ما يمكن أن يعمله أخصائي البروتين في الوقت الحاضر هو شطر جزيء البروتين إلى الجزيئات الصغرى التي يتكون منها؛ ألا وهي الأحماض الأمينية. وهذا يشطر جزيء البروتين بمعالجته بالأحماض أو القلويات، وبما أن الماء يدخل في هذا التفاعل لذا سمى بالتحليل المائي. وعندما يشطر البروتين إلى أحماضه الأمينية يتسنى للكيميائي تكوينه عن

تركيبه السابق معرفته بالتركيب الذري للأحماض الأمينية نفسها بالطرق المثالية المتبعة في الكيمياء العضوية.

وللأحماض الأمينية الناتجة عن تحلل البروتين صفات تركيبية مشتركة، فلكل منها مجموعة كاربوكسيب حامضية (COOH) ومجموعة أمينية قاعدية (NH_2) أو أيمنية (NH). وتتصل كل من المجموعة القاعدية والحامضية بنفس ذرة الكربون التي تسمى «بألفاكربون» ولما كان لكل ذرة كربون أربعة روابط كيميائية، لذا يتصل بذرة ألفاكربون وحدتان أخريان يكون الأيدروجين أحداها دون استثناء– كل ما يميز بعض الأحماض الأمينية عن بعضها هو الوحدة الرابعة المتصلة بألفاكربون، وتختلف هذه المجموعة التي تسمى بالسلسلة الجانبية من حامض أميني لآخر.

وقد فصل الكيميائي الفرنسي هنري براكوفوت الحامض الأميني البسيط جلايسين في عام ١٨٢٠ وحصل عليه بالتحلل الحامضي للجيلاتين. وقد وصلت قائمة الأحماض الأمينية المعروفة والمشتقة من البروتينات إلى ٢٢ حامضا أمينيا، ولا يحتمل أن يضاف إليها عدد كبير آخر من الأحماض الأمينية. وكل حامض أميني فيما عدا الجلايسين يمكن أن بوجد على شكلين هندسيين، أحدهما صورة مرآة للآخر، ولتدليل عليهما يرمز لهما بالرمز «ل» والرمز «د» ونحصل بتحليل البروتين على النوع «ل» فقط من الأحماض الأمينية.

وقد بذلت خلال الأعوام الثمانين التي مضت جهودا جبارة لاستنباط طرق عملية لتقدير نسب كميات الأحماض الأمينية المختلفة، التي تنفصل عند تحلل البروتين، تقديرا دقيقا.

ولما كانت الأحماض الأمينية المختلفة التركيب من جميع الوجوه، فيما عدا طبيعة مجموعة السلسلة الجانبية، لذا كانت المشكلة تنحصر في إيجاد طرق كيميائية لتمييز وفصل هذه الأحماض على ضوء هذا الفارق الصغير. وقد تحقق هذا في السنوات الماضية؛ ويمكن القول حاليا بأن مشكلة تحليل البروتين قد حلت من حيث المبدأ على

الأقل.

وكان لاستنباط طرق الكروماتوجراف لفصل الأحماض الأمينية دور رئيسي في حل هذه المشكلة. وكان عالم النبات الروسي ميشيل سويت قد اكتشف الكروماتوجراف في عام ١٩٠٦. وترجع تسمية هذه الطريقة إلى أنها استعملت في باديء الأمر لفصل المواد الملونة والأصباغ؛ إذ كان سويت مولعا بفصل أصباغ الكلوروفيل الموجودة في الأوراق الخضراء. واستولت عليه فكرة إمكان فصل هذه الأصباغ بسرعة إذا استغل سرعة امتصاصها بمادة ممتصة. وكتب يصف الطريقة بقوله: «إذا رشح محلول من الكلوروفيل في الأيثير البترولي في أسطوانة مليئة بمادة ممتصة (واني استعمل كربونات الكالسيون بعد تثبيتها جيدا داخل أنبوبة زجاجية ضيقة» تنفصل الأصباغ من أعلى إلى أسفل على هيئة مناطق ملونة متباينة، حيث تحل الأصباغ التي تمتص بشدة محل الأصباغ القليلة الامتصاص وتدفعها إلى أسفل. ويصبح هذا الفصل كاملا، فإذا مررنا كمية من المذيب النقي في أسطوانة الامتصاص بعد مرور محلول الأصباغ فيها، فانه كما هي الحال في الطيف حيث تنفصل الأشعة الضوئية، تنفصل المكونات المختلفة لمخلوط من الأصباغ في أسطوانة كربونات الكاليوم، ويمكن تقديرها كميا وكيفيا، وأنى أسمي مثل هذا الجهاز كروماتوجراف، والطريقة نفسها طريقة الكروماتوجراف.

وقد تحقق سويت من أن ظاهرة الامتصاص هذه ليست قاصرة على أصباغ الكلوروفيل فقط، بل يجب أن نفترض أن جميع المواد الكيميائية سواء أكانت ملونة أم عديمة اللون تنطبق عليها نفس القوانين. ومرت عدة سنوات قبل أن تلقى نظرية سويت الرائعة التقدير الكافي. ومنذ عام ١٩٣٠ استنبطت طرق كروماتوجرافية لفصل المواد الكيميائية الملونة وغير الملونة. وقد استخدم الكيميائيان الانجليزيان مارتن، وسينج، هذه الطريقة لفصل الأحماض الأمينية وأدخلا استعمال أسطوانة من النشادر كمادة ممتصة.

كما استغل هذه الفكرة ويليام.هـ. ستين وستانفورد موور بمعهد روكفلر للبحوث الطبية استنبطا طريقة دقيقة لتقدير جميع الأحماض الأمينية التي تتكون بتحليل البروتين تقديرا كميا دقيقا.

ورغم أن عدد البروتينات التي درست بهذه الطريقة ضئيل ، إلا أن النتائج التي حصل عليها كافية لتشير إلى أهميتها في كيميا البروتين؛ ومع ذلك فإنها لم تحل مشكلة التركيب الكيميائي للبروتين بأي شكل من الأشكال. وكل ما أحرزه هذا التقدم هو أنه جعل البروتين في المرحلة التي وصلت إليها المواد العضوية البسيطة منذ مائة عام مضت عندما أمكن حساب نسب الذرات الداخلة في تركيب مركب عضوي؛ ومن هذه المرحلة تمكن علماء الكيمياء العضوية من السير قدما نحو معرفة ترتب الذرات داخل المركب العضوي؛ وبنفس الطريقة يجد كيميائيو البروتين أنفسهم في وضع يسمح لهم بالتقدم، وهم مفعمون بالثقة لحل غموض لترتيب الفراغي للأحماض الأمينية داخل جزيء البروتين.

وتتعلق المشكلة الثانية بطبيعة الروابط الموجودة بين بعض الأحماض الأمينية وبعضها الآخر. ومن أكثر النظريات قبولا تلك التي وضعها كل من أميل فيشر، وأخصائي الكيمياء الحيوية الألماني فرانز هوفماستر كل على حدة في عام ١٩٢٠، عندما اقترحا أن المجموعة الأمينية المتصلة بألفاكربون لحامض أميني تتصل بمجموعة كاربوكسيل المتصلة بألفا كربون لحامض أميني آخر. ويصحب هذا الاتصال انفصال لعناصر الماء من الجزيئات التي تتحد؛ كما تنفصل نفس الرابطة عندما تدخل عناصر الماء إلى الجزيء بالتحلل الحامضي، وتسمى هذه الرابطة بالرابطة البيبتيدية– كما تسمى نظرية فيشر– هو فمايستر بنظرية البيبتايد.

وقد تأيدت هذه النظرية بالكثير من الأدلة العملية حتى أصبح احتمال صوابها كبيرا، وكانت الأبحاث التي أجريت على تخليق البيبتيدات كيميائيا (مجموعات من الأحماض الأمينية توصل بعضها مع بعض بروابط بيبتيدية) من العوامل المؤيدة لهذه النظرية.

وكان فيشر الرائد في هذا المجال إذ أشار إلى «إنه إذا أردنا الحصول على نتائج واضحة في هذا الموضوع المعقد، يجب أن نكتشف أولاً طريقة تتيح للباحث وصل الأحماض الأمينية ببعضها البعض بطريقة تدريجية، على أن يكون لها نواتج وسطى للتفاعل واضحة ومحدودة»– هذا وقد أجريت عدة بحوث خلال نصف القرن الماضي ومازال

البحث مستمرا لاستنباط طرق معملية لتخليق البيبتيدات. ومن أكبر الانتصارات في هذا المجال اكتشاف طريقة الكاربوبنزوكسي «الذي قام به ماطس برجمان أحد تلاميذ فيشر النابغين في عام ١٩٣٢ وكان برجمان يدير معهد كيزر ويلهلم للأبحاث في درسدن، ثم ذهب فيما بعد إلى معهد روكفلر للبحوث الطبية.

وتتحلل البروتينات في أجهزة الجسم بفضل الأنزيمات أمثال البيبسين والتريبسين والكيموتريبسين. وتعمل هذه العوامل المساعدة على دفع عملية التفاعلات التحليلية، وبذا تساعدها على العمل في درجات الحرارة العادية وتحت الظروف الحامضية العادية في الكائن الحي. وحسب نظرية البيبتيدات تحلل هذه الأنزيمات الروابط البيبتيدية؛ وإذا سلمنا بصحة هذه النظرية فانه يتحتم على نفس الأنزيمات أن تحلل أيضا البيبتيدات البسيطة المختلفة في العمل. وقد قام أخصائيو البروتينات دون جدوى بمحاولات لتخليق مواد يمكن أن تحللها هذه الأنزيمات؛ وعلى البعض هذا الفشل بأنه دليل مادي ضد نظرية البيبتيدات هذه. غير أنه في عام ١٩٣٧ تمكن كاتب هذا المقال، وكان يعمل في معمل برجمان بمعهد روكفلر، مستخدما طريقة الكاربوبنزوكسي لتخليق البيبتيدات من تخليق مواد أمكن تحللها بهذه الأنزيمات عند الروابط البيبتيدية– وقد عضد هذا الكشف نظرية فيشر– هوفمايستر وأيدها تماما.

وكان اكتشاف عزل البيبتيدات في بعض الأحيان في أثناء تحلل البروتينات، وإيقاف التفاعل قبل أن تتحول البروتينات كليا إلى أحماض أمينية بمثابة تأييد آخر وتعضيد جديد لمظرية البيبتيدات.

ومن الجلي أن عزل البيبتيدات ليس عملا هينا حيث تقابل الباحث صعوبة فصل مكونات مخلوط معقد، وهي نفس الصعوبة التي تقابله في حالة الأحماض الأمينية، بل وتعتبر المشكلة اكثر تعقيدا لأن عدد البيبتبدات التي تنتج عن تحلل البروتين أكثر بكثير من عدد الأحماض الأمينية المنتظرة، كما أن كمية كل بيبتيد ضئيلة للغاية وتعتبر طرق الكروماتوجراف الحديثة ملائمة لمهمة فصل البيبتيدات، ويستعملها الكثيرون من الباحثين في الوقت الحاضر. وقد عالج هذا الموضوع حديثا ليمان س كريج بمعهد روكفلر، واستنبط

طريقة جديدة للفصل مبنية على نفس القواعد المألوفة في استخلاص مادة كيميائية من مذيب ما كالماء بمذيب آخر كالأثير.

ومن المتوقع أن ترسي هذه الطريقة وطريقة الكروماتوجراف القواعد العملية الرئيسية لحل مشكلة التعرف التعرف على الببتيدات الناتجة عن تحلل البروتين.

ويوضح العمل الفذ الذي قام به الكيميائي الانجليزي فريدريك سانجر كفاءة هذه الطرق، إذ نجح في إماطة اللثام عن التركيب الكامل للهرمون البروتيني الحيوي «الأنسولين» وكانت الخطوة الهامة من هذا العمل الرائع هي استعماله لمادة– «دايتيتروفلوبنزين» **Dinitro- Auorobezene** التي تتحد بسهولة مع مجموعات ألفا الأمينية في نهاية سلسلة الببتيدات الموجودة في جزيء الأنسولين، وينتج عن اتحادها مركبا اسمه (داينيزو فينايل أنسولين) (د ن ف– أنسولين). وتشغل جميع مجموعات ألفا الامينية الموجودة في نهاية المركب بمجموعات دينايتروفينايل (د ن ف) وعندما يتحلل البروتين بالأحماض القوية تتكسر جميع الروابط الببتيدية، بينما لا تتأثر الروابط الموجودة بين مجموعة (د ن ف) ومجموعات ألفا الأمينية الموجودة في نهاية الجزيء؛ وبمعنى آخر يظل كل حامض أميني نهائي متصلا بمجموعة (د ن ف)، ولما كانت مجموعة (د ن ف) تضفي على المركبات الموجودة فيها لونا أصفر مميزا فقد تمكن سانجر من فصل «د ن ف– أحماض أمينية» بوساطة الكروماتوجراف وتقدير التسلسل الذي ترتبط فيه بعضها ببعض في سلسلة الببتيد لجزيء الأنسولين. وتوحي النتائج التي حصل عليها العلماء حتى الآن بأن جزيء البروتين، هو تركيب على هيئة خيط مكون من عدة مئات من الأحماض الأمينية مرتبطة ببعضها البعض بروابط ببتيدية مجدولة لتكون سلسلة (أو عددا من السلاسل متصلا «بكباري» ثنائية الكبريت) ذات أطوال هائلة. وهناك أدلة قوية على أن هذا الوصف ينطبق فعلا على البروتينات عديمة الذوبان مثل الكيراتين وفايبرين الحرير وبعض البروتينات القابلة للذوبان وأخصها ما يوسين العضلات، وفايبرينوجين الدم.

غير أن معظم البروتينات ليست ليفية أو على هيئة خيوط. فالأنزيمات والهرمونات البروتينية وجميع بروتينات الدم، عدا الفايبرينوجين، كروية، وهي قابلة للذوبان في الماء أو

محلول الملح، إلا أن خاصية الذوبان هذه ربما فقدت بسرعة أو قلت بتعويض البروتين، لأرتفاع نسبي في درجة الحرارة (١٤٠ درجة فهرنهيت) أو لحموضة خفيفة. ويعبر عن هذا التغيير في الذوبان بحالة تغير طبيعة البروتين.

وبدراسة شكل هذه البروتينات المتغيرة نجدها تشبه البروتينات الليفية، كما يلاحظ أن تغير طبيعتها يغير من صفاتها البيولوجية، وفي بعض الحالات إذا عرض البروتين لظروف غير ملائمة فترة ليست بالطويلة نسبيا، فان تغير طبيعة البروتين يمكن ارجاعه لأصله بمجرد تعريض البروتين للظروف الملائمة، وفي هذه الحالة يسترجع البروتين خاصية الذوبان، وصفاته البيولوجية، في وقت زاحد.

وواضح إذا أن تغير طبيعة البروتين يكون مصحوبا بتحول الجزيء الكروي إلى آخر ليفي، ويتبع هذا التحول فقدان لبعض الخواص البيولوجية الهامة للبروتين. وكنتيجة طبيعية لهذه الحقائق يتضح أن الروابط الببتيدية في البروتين الكروي تكون ملفوفة بطريقة خاصة، ويساعد على هذا الانثناء المميز وجود روابط خاص بين أجزاء السلسلة الببتيدية. كما يمكننا أيضا أن نستنتج شيئا عن متانة هذه الروابط؛ وهي أنها أسهل تمزقا من الروابط الببتيدية العادية، وذلك لأن الظروف المطلوبة لتغير الطبيعة تعتبر ظروفا أخف بكثير من تلك التي يتطلبها تكسير الروابط الببتيدية.

وقد كانت طبيعة هذه الروابط الخاصة موضع استنتاجات مشوقة، ومن بين النظريات التي وضعت، تلك التي وضعها الفريد. ي ميرسكي بمعهد روكفلر، وليناس بولبخ بمعهد كتاليفورنيا في عام ١٩٣٦. فقد اقترحا أن وجود روابط أيدروجينية يعتبر عاملا رئيسيا لإضفاء صفة الانثناء المميزة على السلسلة الببتيدية الطويلة، ولقد نجحت هذه النظرية في تفسير الكثير من الفروق، في صفات البروتين الخام الطبيعي والبروتين المتغير الطبيعة. وتشير هذه النظرية إلى أن هناك مئات من الروابط التي تتكون من مشاركة ذرة أيدروجين في مجموعة أمينية، بذرة أكسجين في مجموعة كاربوكسيل. وتكون هذه الروابط الأيدروجينية طفيفة لو كانت بمفردها ولكنها يقوي بعضها البعض داخل جزيء البروتين حيث توجد مئات من ذرات الأيدروجين في مجموعات أمينية، يقابلها عدد هائل

من ذرات الأكسجين في مجموعات كاربوكسيل، وينشأ عن تقوية هذه الروابط تركيب ثابت مستقر.

ويجب أن يضاف إلى النظرية القائلة بأن جزيء البروتين هو سلسلة طويلة، أو سلاسل عديدة البيبتيدات مكونة من عدة أحماض أمينية، ذلك الرأي القائل بأنه في كل نوع من البروتين لأجزاء السلسلة البيبتيدية ترتيب داخلي مميز، مسئول عن صفات الجزيء الكيميائية والبيولوجية الخاصة به. ويترتب على هذا أن تصبح مشكلة تركيب جزيء البروتين، لا تتضمن مهمة إيجاد ترتيب ونظام الأحماض الأمينية في السلسلة البيبتيدية فحسب، بل وتتضمن مسائل أكثر تعقيدا، مثل طبيعة ومكان الروابط التي تنكسر في أثناء تغير الطبيعة.

ورغم أن تخليق جزيء البروتين ما زال عملية خارجة عن إرادة الكيميائي إلا أنها ليست مشكلة بالنسبة للكائن الحي، فالخلية الحية سواء أكانت لأميبا أم لكبد حيوان ثدمي، تقوم بمهمة تخليق البروتينات بسرعة ودقة متناهية؛ ويمكن لكثير من الكائنات أن تستخدم بروتينات غريبة عن تركيب جسمها، وتحللها إلى الأحماض الأمينية المكونة لها، أو إلى بيبتيدات، ثم تستخدم هذه الأجزاء لتخلق منها بروتيناتها الخاصة المميزة لها. هذا بالإضافة إلى أن بروتينات الكائن الحي لا تختزن ولا تظل سليمة طول حياة الكائن الحي، بل هناك حركة تكسير وتخليق لبروتينات الجسم طول الوقت. وبمعنى آخر فان مشكلة الحياة هي الطريقة التي تكون بها الأنسجة الحية البروتينات، وكيف تجابه دوما الاتجاه نحو تحلل البروتين؛ وبذا تكون آلية النظام الذي تقوم به الخلايا لتخليق البروتينات، هي أكبر مهمة تتحدى الكيمياء الحيوية.

ويعتبر السؤال التالي البداية المنطقية لمثل هذه المشكلة. وهو :كيف تعمل الأنسجة الحية على اتحاد حامضين أمينيين لتكون رابطة بيبتيدية؟ هذا وتعمل عدة معامل في أمريكا بهمة لاستقصاء لهذه المشكلة، ورغم أن الإجابة الصحيحة لمثل هذا السؤال لم تتوفر في الوقت الحاضر، إلا أن هناك ما يبشر بقرب الوصول إلى الحل السليم.

ومن بين الآراء والنظريات التي تبدوا سليمة، النظرية القائلة بأن تكون الروابطالبيبتيدية يتم في الخلايا الحية، بمساعدة نفس الأنزيمات التي تعمل على تكسير هذه الروابط بعد الوفاة. وقد جاء التأييد الرئيسي لهذه النظرية بعد أن الأنزيمات التي تحلل البروتينات قادرة في الواقع على ربط حامضين أمينيين معا ليكون رابطة بيبتيدية، ولو أن هذه العملية لا تحدث إلا تحت ظروف خاصة، وأهم هذه الظروف الحاجة إلى مقاومة ميل هذه الأنزيمات الطبيعي نحو تحليل الرقابط البيبتيدية؛ والطريقة العملية البسيطة للوصول إلى عكس عمليه التجليل هذه، هي اختيار تفاعل ينتج عنه بيبتيد غير قابل للذوبان، وينفصل عن محيط التفاعل بنفس السرعة التي يتكون بها. ومن الممكن. باستغلال هذه الظاهرة، أن نوضح بما لا يقبل الشك أن الأنزيمات التي تحلل البروتينات قادرة على مساعدة تخليق الروابط البيبتيدية.

والظاهرة المميزة لهذه النظرية، هي أن هذه الأنزيمات على درجة عالية من التخصص في العمل على الروابط البيبتيدية؛ أما في حالة الأنزيمات التي تعمل على تحلل البروتين فإن تخصص الأنزيم يتوقف إلى حد كبير على طبيعة الأحماض الأمينية المشتركة في تكوين الرابطة البيبتيدية؛ بل وأكثر من هذا أن هذه الأنزيمات لا تعمل إلا على الروابط البيبتيدية التي تحتوي على أحماض أمينية من النوع «ل» التي سبق أن أوضحنا سلفا أنها مميزة لمكونات البروتين. فمثلا ربما ساعد أنزيم على تكوين بيبتيد عندما يكون الحامض الأميني الذي يزود ألفا كاربوكسيل لتكوين البيبتيد، هو تايروسين أو فينايل الآنين فقط. ودلت التجارب على أنه باستبدال هذين الحامضين الأمينيين بغيرهما من الأحماض الأمينية يتوقف عمل الأنزيم؛ وفي الواقع لا يعرف الكيميائيون الحيويون مجموعة أخرى من العوامل المساعدة البيولوجية، يمكن مقارنتها بالأنزيمات المحللة للبروتين من وجهة تخصصها في التأثير على الروابط البيبتيدية. وبفضل هذا التخصص الدقيق يكون لدى هذه الأنزيمات كل الصفات اللازمة لتوجه بدقة وكفاءة تخليق البيبتيدات المعقد المتتابع اللازم لتكوين البروتين. ومع ذلك فلكي نلاحظ عملية التخليق التي تقوم بها يجب إزالة الناتج من محيط التفاعل، أو بمعنى آخر يجب بذل جهد في هذه العملية لمقاومة ميل الأنزيم الطبيعي

لتحليل الناتج بعد تخليقه. ويترتب على ذلك أنه لو كانت الأنزيمات تقوم فعلا بتخليق البيبتيدات في الخلايا فإنه لابد أن تكون هذه العملية مرتبطة بتفاعل آهر يمدها بالطاقة الكيميائية اللازمة. وهناك من الأسباب القوية ما يحملنا على الاعتقاد بأن هذه الطاقة الكيميائية تأتي من تحلل المواد الغذائية مثل الجلوكوز، أما عن طريقة أكسدته وأما عن طريق تخمره، ولو أنه لم يثبت حتى الآن ميف يمكن ربط تحلل الجلوكوز مباشرة بعملية تكوين الروابط البيبتيدية في الخلايا.

هذا وقد أعير اهتمام كبير في السنوات الأخيرة للنظرية التي اقترحها فريتز ليبمان بمستشفى ماساسوتش العام، والقائلة بأن تكوين الروابط البيبتيدية ينطوي على تكوين مشتقات من حامض الفوسفوريك مع الأحماض الأمينية كنواتج وسطى. ومصدر هذه النواتج الفوسفورية، حسب نظيرة ليبمان، مركبات فوسفورية ذات طاقة عالية مثل الأدينوسين الثلاثي ي الفوسفات. **Adenosine triphosphate- ATP** وقد ثبت أن المركب الأخيري قوم بدور هام في تبادل الطاقة الكيميائية، الذي يحدث في التمثيل الغذائي للسكريات. وهناك أدلة عملية على أن النواتج الوسطى المحتوية على الفوسفات ربما لعبت دوراً هاماً في التخليق البيولوجي لبعض الأميدات مثل حامض الهيبيوريك أو الجلوتامين.

وتشبه هذه الأميدات إلى حد كبير البيبتيدات من حيث تركيبها، ولكن تختلف عنها فقط في أن رابطة **CO.NH** تربط حامضا أمينيا بمجموعة غير أمينية. وللدور الذي به مركب **A.T.P** في تكوين الرابطة الأميدية في جزيء الجلوتامين، والذي سبق أن أثبته جون. ف. سبيك بجامعة شيكاغو، أهمية خاصة وذلك لأن هذا المركب المشتق من حامض الجلوتاميك واسع الانتشار في عصارات وأنسجة الحيوان والنبات على السواء.

ورغم أن النتائج العملية التي قدمت لتأييد نظرية ليبمان كانت قوية ومقنعة، إلا أنها لا توضح توضيحا كافيا درجة التخصص العالية في تكوين الرابطة البيبتيدية. ولذا كانت كل من النظريتين السالفتي الذكر، توضح وجها مختلفا، ولكنه هام، من أوجه المشكلة. وربما كانت أحداهما مككملة للأخرى أكثر مما هي كاملة. ويؤيد هذا الرأي البحث الذي

بدأ في معمل برجمان عام ١٩٣٧ وأتمه كاتب هذا المقال في جامعة ييل، وأظهرت نتائجه أن الأنزيمات التي تحلل البروتينات قادرة على تحليل وتخليق الروابط الببتيدية.. كما أظهرت أيضا أن هذه الأنزيمات نفسها يمكن أن تحل فيها أحدى مكونات الرابطة الببتيدية محل غيرها، دون الأستعانة بقدر كبير من الطاقة الكيميائية، وبنفس درجة التخصص التي لوحظت في التخليق والتحليل.

وإذا قدر لهذه النتائج أن يكون لها مغزى عام، فهذا المغزى هو أن الأميد المحتوى على أحد مشتقات حامض أميني، متصل بالنوشادر مثل الجلوتامين، يمكنه أن يستعيض عن النوشادر بحامض أميني أو حتى ببتيد؛ وتأتي الطاقة اللازمة لمثل هذا التفاعل من تخليق الجلوتامين الذي ربما احتوى على ناتج وسطى محتو على الفوسفات –كما أوضح سبيك– ويحدد تخصص الأنزيم الذي يساعد على تبادل نتروجين الأميد بنتروجين ألفا أميني لحامض أميني أو ببتيد، يحدد طبيعة وتتابع الأحماض الأمينية المرتبطة بروابط ببتيدية في الناتج النهائي. وكنتيجة أخرى لهذه النظرية فان ببتيدا بسيطا مكونا حامضين أمينين أو ثلاثة، يمكن أن يتحول في وجود الأنزيم المناسب إلى سلسلة أطول باحلال ببتيد محل أحد الأحماض الأمينية، ويحتاج إلى طاقة لتكوين الببتيد البسيط الأولى ربما عن طريق ناتج وسط محتو على الفوسفات، إلا أن تكوين الببتيدات الأخرى يكون واقعا تحت تأثير الأنزيمات العالية التخصص التي تعمل كروابط ببتيدية.

وهناك طريق آخر لبحث كيفية تكوين الروابط الببتيدية، ألا وهو البحث عن جهاز بيولوجي، يحتاج إلى الببتيدات أكثر من حاجته إلى الأحماض الأمينية نفسها التي تكون هذه الببتيدات. فمثلا إذا كانت هناك خلية بكتريا تستخدم ببتيدا لنموها بكفاءة أكبر من استخدامها للأحماض الأمينية، فان ذلك يعني أن سرعة تخليق الببتيد تتحكم في سرعة استخدام الأحماض الأمينية لتخليق البروتين، وتبحث هذه النقطة صوفيا سيموندس بمعاونة كاتب المقال ضمن دراسات يقومان بها على تمثيل البكتريا للببتيدات بجامعة ييل. وربما قدمت نتائج هذه الدراسات أدلة بيولوجية قيمة لاختيار النظريات والآراء المختلفة، التي وضعت لتفسير طريقة تكوين الروابط الببتيدية.

ويتضح من كل هذا أن الاكتشافات الحاسمة في دراسة تكوين البروتينات بيولوجيا، مازالت تنتظر ما يتمخض عنه المستقبل؛ ومهما كانت النتائج التي تتعلق بالدور الذي تقوم به الأنزيمات في تكوين الروابط الببتيدية فإنها ستوضح جزءا من الصورة الكاملة للعملية كلها فقط. فمثلا ما طبيعة القوى التي تضفي على البروتينات ذات الأهمية البيولوجية، أمثال الأنزيمات والهرمونات، خواصها الطبيعية والكيميائية والفسيولوجية المميزة؟ فجزيء الأنسولين المتغير الطبيعة، رغم أنه غير فعال كهرمون، مفروض أنه مازال محتويا على نفس الأحماض الأمينية التي يحتويها الجزيء الفعال، كما أنه يبدو أن الروابط الببتيدية التي تربط هذه الأحماض الأمينية لم تنكسر بدرجة ملحوظة. فكيف إذا تتكون السلسلة الببتيدية داخل الخلية الحية لتكون هرمونا نشطا بكل صفاته المميزة؟ هل نحن بصدد نظام متداخل يعمل فيه نموذج من الناتج النهائي على هيئة شبكة تتجمع فوقها الأجزاء الأخرى؟

الواقع أنه لا يمكن الاجابة عن كل هذه الأسئلة في الوقت الحاضر، غير أنه لا يجب أن يغرب عن بالنا أن الكيمياء الحيوية فرع حديث العهد نسبيا من فروع العلم، ولو أن تقدمها كان سريعا ولها تأثير حاسم على مستقبل جميع ظواهر البيولوجيا وتطبيقها في الزراعة والطب.

وقصارى القول: أن جميع المعضلات البيولوجية تتفاعل عند المعضلات التي لم تجد حلا، والتي تتعلق بتركيب وطريقة عمل البروتينات، ويجد كيميائي البروتينات في سعيه لايجاد منافذ عملية، ينفذ منها إلى المجهول ليسبر غور المشكلة الأساسية للحياة. وسواء ككل عمله بالنجاح أم للا فانه لا يدرك دور الشعور الذي يتملكه، وهو شعور الهيبة والخشوع أمام ما ما يمكن أن يقال عنه أنبل قطعة هندسية في الكون ألا وهي جزيء البروتين.

تركيب البروتينات

ليناس بولنج ، روبرت كوري ، روجرهايورد

يحتوي جسم الإنسان على ما يقرب من ٦٥٪ من وزنه ماء، ١٥٪ بروتين، ١٥"٪ نقاد دهنية، ٥٪ مواد غير عضوية وأقل من ١٪ مواد كربوايدراتية. ويتركب جزيء الماء من ذرتين من الأيدروجين وذرة من الأكسجين. وقد تمت معرفة تركيب هذا الجزيء في السنوات الأخيرة، ووجد أن كلا من ذرتي الأيدروجين توجد على مسافة ٠٩٦ وحدة أنجوستوم من ذرة الأكسجين (وحدة الأنجوستروم تساوي $\frac{1}{10_{\text{مليون}}}$ من المليمتر) والزاوية الناشئة عن الروابط بين ذرة الأكسجين وذرتي الأيدروجين هي ١٠٦ درجة. ويبدو جزيء البروتين هائلا إذا ما قورن بمثل هذا الجزيء البسيط؟ فهو مكون من آلاف الذرات أغلبها من الأيدروجي والأكسجين والكربون والنتروجين؛ وتعتبر مشكلة ترتيب هذه الذرات داخل جزيء البروتين من أمتع وأشق المعضلات التي يبحثها المشتغلون بعلوم الفيزياء والكيمياء والبيولوجيا في الوقت الحاضر.

وللبروتينات أهمية خاصة لا ترجع لتعقيد تركيبها فحسب بل لتنوعها وتغيرها. فهناك عشرات الألوف، وربما مئات الألوف من أنواع البروتينات المختلفة التي تقوم بعدد كبير من الوظائف في جسم الإنسان. فالكولاجين الذي يدخل في تركيب أوتار العضلات والعظام والجلد يقوم بوظيفة رئيسية، وهي تكوين هيكل الجسم ذي الصفات الآلية الخاصة؛ وللهيموجلوبين الموجود في كرات الدم الحمراء وظيفة رئيسية هي الاتحاد مع الأكسجين في الرئتين، ثم التخلي عنه للأنسجة، ويقي الكيراتين الموجود في الشعر وبشرة الجلد، ويقوم في الأظافر بوظيفة الأداة، كما يقوم الببسين والتريبسين وغيرهما من الأنزيمات الأخرى.

بوظيفة هضم الغذاء؛ أما سايتو كروم «ج» وغيره من أنزيمات الأكسدة والاختزال فيساعد عملية أكسدة المواد الغذائية داخل الخلايا، ويعب بروتين العضلة المعروف بالمايوسين دورا هاما في عملية تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة ميكانيكية، وغير ذلك من الوظائف التي لا حصر لها.

ويوضح لنا الفصل السابق لكاتبه جوزيف فراتون قصة الجهد الكبير الذي بذله العلماء لاماطة اللثام عن تركيب البرويتنات. وقد وجد خلال النصف الأخير من القرن التاسع عشر أنه يمكنم تكسير البروتينات بغليها في الماء فترة طويلة، أو بمعالجتها بالقواعد أو الأحماض، وينتج عن هذه المعالجة مواد كيميائية بسيطة هي الأحماض الأمينية.

واكتشف الكيميائي الألماني أميل فيشر أن البروتينات مركبة من سلاسل طويلة من أسس الأحماض الأمينية (وأساس الحامض الأميني، هو مجموعة الذرات المتخلفة بعد نزع جزيء الماء من جزيء الحامض الأميني). وتسمى السلاسل الطويلة من أسس الأحماض الأمينية بالسلاسل البولببتيدية أو عديدة الببتيدات. وتكون هذه السلاسل عادة طويلة جدا فمثلا في جزيء أو فالبومين، وهو البروتين الرئيسي في بياض البيض تتركب السلسلة البولبيتيدية الواحدة مما يقرب من ٤٠٠ أساس حامض أميني. ويمكن تقدير عدد أسس الأحماض الأمينية في جزيء البروتين بتحليله كيميائيا زقد وجد أن كل جزيء من أوفاليومين يحتوي على ١٩ أساس جلايسين، ٣٥ أساس آلانين، ٦ أساس تايروسين، وهكذا بالنسبة للسبعة عشر نوعا المختلفة من الأحماض الأمينية الموجودة.

وتنبغي الإجابة عن سؤالين هامين عند دراسة تركيب البروتين:

أولهما عن ترتيب الأحماض الأمينية في سلسلة البوليببتيد. والثاني عن الطريقة التي تنثني بها هذه السلسلة إلى الأمام وإلى الخلف في الفراغ الذي يشغله الجزيء. وهذا وقد أحرز العلم تقدما كبيرا في الإجابة عن هذين السؤالين في الأعوام الأخيرة.

وسوف نبحث في هذا المقال السؤال الثاني فقط. وقد كان استخدام الانشطار

الذي يطرأ على الاشعة السينية من أهم الطرق العملية التي ساعدت على حل غموض هذه المشكلة.

وقد مكنت هذه الطريقة السير ويليام ونجله السير لورانس (ويشغل الآن مركز مدير معمل دافي فاراداي في المعهد الملكي بلندن) من تعيين تركيب كلورور الصوديوم وغيره من المركبات البسيطة، ثم

مركبات غير عضوية أكثر تعقيدا مثل سيلكات الفلزات والمعادن والمواد العضوية أيضا في عام ١٩١٤. وما أن مضت ست سنوات على استخدام الأشعة السينية في هذه الأغراض حتى طبق استعمالها على البروتينات أيضا. وسجل «هرزوج– جانك» صورا فوتوغرافية لانعطافات الأشعة السينية في الشعر والقرون والعضلات والحرير والأوتار– إلا أن النتائج لم تكن مشجعة فكانت معالم الصور غير واضحة لدرجة يصعب معها تحديد أماكن الذرات.

ورغم التحسن الذي طرأ على طرق استخدام انعطافات الأشعة السينية منذ ذلك الوقت، إلا أن مثل هذه الصور ما زالت تواجه الباحث بمهمة شاقة من ناحية الاستنتاج والتقويم، حتى أن صورة الأشعة السينية لمركب بسيط مثل جلايسايل جلايسيين تبدو فيها ٤٠٠ بقعة، وتمثل كل من هذه البقع الاتجاه الذي تتفرق فيه الأشعة السينية بشدة بفعل الذرات الموجودة في البللورة. ويتجمع ما يقرب من ٨٠٠ انحراف مميز من عدة صور من هذا النوع. ويحتوي جزيء الجلايسايل جلايسين على تسع ذرات أخرى، خلاف ذرات الأيدروجين ومن المعروف أن ذرات الأيدروجين لا تفرق الأشعة السينية بدرجة ملحوظة، ولذا لا يمكن لمادة تحديد أماكنها بالأشعة السينية بطريقة واضحة. ويمكن وصف بللورة من جلايسايل جلايسيين عندما تعين الأبعاد الثلاثة س، ص، ي لكل من الذرات التسع. وبالتبعية يكون هناك سبعة وعشرون محورا أو بعدا ذريا يمكن تعيينها، وتتوقف شدة انعكاس كل شعاع سيني على هذه المحاورة. ومن الممكن بهذه الثمانمائة الانحراف المميزة تقدير السبعة والعشرين محورا جميعها بدقة متناهية. وأمكن بهذه الطريقة تحديد أماكن جميع الذرات عدا ذرات الأيدروجين في بللورة الجلايسايل

جلايسيين، إلى ما يقرب من ٠.٠٢وحدة انجوستروم. ويساوي هذا الفرق ٢% من المساحة بين كل ذرة وجاراتها؛ ومن هذا يتضح أن أمامنا صورة لبللورة الجلايسايل جلايسيين يمكن أن نضع فيها الكثير من الثقة.

ويختلف الوضع تماما بالنسبة لتعيين التركيب الكيميائي لبروتين أكثر تعقيدا مثل الكيراتين الذي يكون ألياف الشعر، إذ أن السلاسل الكثيرة الببتيد في البروتينات الليفية لا تقل تعقيدا عنها في ألبيومين البيض، وقد أثبت التحليل الكيمائي للشعر وجود ثمانية عشر حامضا أمينيا مختلفا ممثلة في جزيء الكيراتين، وأن الوحدة المتكررة في ألياف الكيراتين يحتمل أن تتكون مما يقرب من ثلاثمائة أساس حامض أميني. ويحتوي كل أساس حامضي أميني في المتوسط على ما يقرب من تسع ذرات خلاف ذرات الأيدروجين، وبذا يكون هناك ما يقرب من ٢٧٠٠ ذرة يتعين مكانها، ٨١٠٠ محور يتعين تقديرها. وطبيعي أن مثل هذا التركيب المعقد لا يمكن تعيينه من صور الأشعة السينية لشعر الخيل غير الواضحة المعالم.

وعلى الرغم من هذا الموقف غير المشجع، إلا أن عدة باحثين وعلى رأسهم استبري بجامعة ليدز، استمروا في استخدام الأشعة السينية في دراسة البروتينات الليفية الموجودة في النبات والحيوان، وحصلوا على معلومات هامة في هذا المجال. وكان هرزوج وجانك قد لاحظا أن نمط الانحراف الطاريء للأشعة السينية من الشعر والحرير والأوتار مختلف تماما، بينما من تلاهم من الباحثين أن كل البروتينات الليفية الموجودة في الطبقة تعطي واحدا أو آخر من هذه النماذج الثلاثة. كما أن البروتينات المختلفة كالشعر والقرون والأظافر والعضلات وبشرة الجلد والفايبرينوجين وأسواط البكتريا، لها نفس صور الأشعة السينية. ويوحي هذا التشابه بأن نظام السلاسل البوليببتيدية في كل هذه البروتينات واحدا، وأنه بغض النظر عن اختلاف عدد وترتيب فضلات الأحماض الأمينية فإن السلاسل مثنية أو ملفوفة حسب نظام موحد؛ بينما غيرها من البروتينات الليفية مثل الحرير وأوتار العضلات لها نمط مختلف في الاشعة السينية، ولذا كانت سلاسلها البوليببتيدية ملفوفة بطريقة أخرى.

وفي عام ١٩٣٧ تقرر البحث في مشكلة تركيب البروتينات بطريق غير مباشر، وذلك في معامل جيتس وكريللين للكيمياء بمعهد كاليفورنيا الفني، وذلك عن طريق دراسة طبيعة السلاسل البوليببتيدية دراسة مستفيضة، تسمح باستنتاج الطريقة التي تلف بها السلاسل البوليببتيدية نفسها في الطبقة لتكون جزيئا بروتينيا كرويا أو ليفيا. وكانت الأشعة السينية وقتذاك قد استخدمت بنجاح في تعيين تركيب مئات البللورات بما في ذلك بعض البللورات المعقدة جدا كخام البيريل $Be_3 Al_2 Si_6 O_{18}$ ولو أنه لم يكن قد تعين حتى ذلك الوقت تركيب أي حامض أميني أو أي مركب آخر بسيط الشبه بالبروتينات.

ثم بدأ البحث في تركيب هذه المركبات البسيطة، وما أن جاء عام ١٩٥٠ حتى أمكن تعيين تركيب ثلاثة احماض أمينية، وثلاثة ببتيدات بسيطة (سلاسلة قصيرة مكونة من أسس أحماض أمينية) وعدة مركبات مشابهة وذلك بدرجة كبيرة من الدقة. ومن المعلومات التي أمكن جمعها من معرفة تركيب هذه المواد أمكن الشروع في استنتاج النظام المحتمل وجوده في السلاسل البولببتيدية. ومنذ عام ١٩٥٠ تم تعين تركيب ستة أحماض أمينية ومركبات ببتيدية أخرى في معهد كاليفورنيا الفني، كما أمكن معرفة تركيب غيرها في معامل أخرى.

وقد تكلبت معرفة الأبعاد بين الذرات والزوايا، الكائنة بين الروابط الكيميائية وغيرها من الصفات التركيبية، الكثير من الجهد والوقت كما تطلب كل ذلك دقة متناهية لا تسمح بخطأ يتعدى ٠.٢ وحدة أنجوستروم في تحديد أماكن الذرات. وقد اقتضى فحص بللورات من بلورات الحامض الأميني قريونين جهدا متواصلا، قام به أربعة باحثين يحملون درجة الدكتوراة، لمدة عام كامل.

وعند فحص عدة مركبات أخرى من هذا النوع وجد تركيبها متشابها لدرجة كبيرة من مادة إلى أخرى، وقد سمح هذا التشابه بالاستنتاج الصحيح لأبعاد السلسلة البوليببتيدية؛ ومن المعتقد أن الخطأ في تقدير المسافة بين الذرات لا يتعدى ٠٢. وحدة أنجوستروم، وأن الخطأ في تقدير الزوايا بين الروابط الكيميائية لا يتعدي ثلاث درجات.

وهناك ظاهرة مميزة في التركيب ذات الأهمية خاصة، وهي أن الست الذرات المكونة لما يسمى بمجموعة الأسيد CCONHG) واقعة في فراغ واحد وتوجد على مسافة جزء من مائة «وحدات أنجرستروم» من سطح واحد ومجموعة الأميد هذه جزء صلب من سلسلة البولبيبتيد لا تنحرف عن الوضع الفراغي.

ويوضح هذا الشكل سلسلة البوليبتيد برسم ذي بعدين. ويرمز لمجموعة الأميد، وهي الوحدة الأساسي في السلسلة بالخطوط الغليظة على يمين الشكل، وتكرر هذه الوحدة نفسها في كل وصلة من السلسلة والكربون الذي يرمز له بالرمز **G** هو الكربون الموجود في الوحدة، أما الكربون غير المرقوم فمشترك بين الوحدات المتجاورة ويكون الرابطة بينهما. ويدل الرمز **R** على ذرات أو مجموعة من الذرات في السلسلة الجانبية إلا بقدر يسير، وتسهل صلابة مجموعة الأميد المشكلة إيجاد الطريقة التي تنثني بها سلسلة البوليببتيد.

وهناك صورتان لترتيب ذرات مجموعة الأميد في مسطح واحد، تسمى الأولى بالصورة «الترانس» وفيها توجد ذرات الكربون في جانبين متقابلين من المجموعة. وتسمى الثانية بالصورة «السيس» وفيها تكون ذرات الكربون في جانبين متجاورين. وهناك أدلة على أن الصورة «الترانس» أكثر استقرارا من الصورة «السيس»؛ ويحتمل أن تكون الأخيرة نادرة في السلاسل البوليببتيد للبروتينات.

هذا ويمكن للسلسلة البوليببتيد التي توجد فيها المجموعة الأميدية على الصورة «الترانس» أن تنثني بطرق مختلفة، حيث أن الروابط المتصلة بذرات الكربون الجانبية

للمجموعة هي روابط كيميائية مفردة، تمكن الجزيء من أخذ وضع حول محور كل رابطة بزوايا مختلفة، ومن بين الأوضاع المختلفة الممكنة تكون الأوضاع الأكثر استقرارا، هي التي تكون فيها مجموعة أميد مع المجموعات الأميدية الأخرى تسمى بروابط الهيدروجين. ورابطة الأيدروجين الموجودة بين مجموعتي أميد، هي رابطة ضعيفة تربط ذرة هيدروجين وذرة نتروجين من مجموعة أميدية بذرة أكسجين من مجموعة أميدية أخرى. وفي بللورة من مادة الدايكيتوبيبرازين تربط الروابط الأيدروجينية جزيئات الدايكيتوبيرازين لتكون منها عوارض طويلة مصفوفة جنبا إلى جنب في البللورة. وينعكس هذا النظام على الصفات الطبيعية لبللورة هذه المادة. وتتوقع من نظام كهذا أن يكون من اليسير فصل عارضة عن أخرى، ومن العسير كسر عارضة، الأمر الذي يتطلب كسر رابطة هيدروجينية. وقد وجد فعلا أنه يمكن شطر بللورة الدايكيتوبيبرازين في الأوجه الموازية للمحاور الطويلة للعوارض.

وقد أظهرت دراسة هذه البللورة وغيرها من البللورات، أن متوسط المسافة بين ذرة نتروجين وذرة أكسجين متصلتين برابطة أيدروجينية هي ٢.٧٩ وحدة أنجوستروم ولذا كان منطقيا أن نعتقد أن التركيب المعقول لسلسلة البوليببتيد هي التركيب الذي يسمح بتكوين روابط أيدروجينية، طولها ٢.٧٩ وحدة أنجوستروم تقريبا.

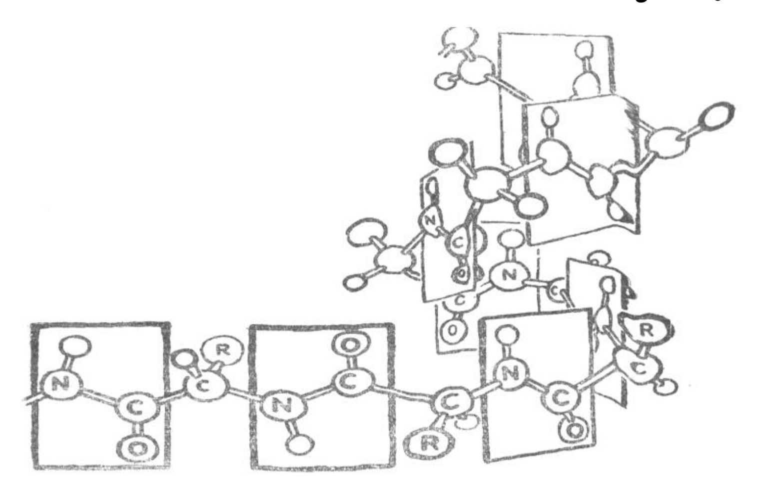
ويوضح الشكل التالي الطريقة التي تنثني بها سلسلة البوليببتيد الكثيرة الانتشار في البروتينات. وقد صمم هذا الشكل على افتراض أن جميع فضلات الأحماض الأمينية متشابهة، باستثناء اختلاف طبيعة السلسلة الجانبية، وفيما عدا الجلايسين فان الأحماض الأمينية الموجودة في البروتينات غير المتماثلة في الفراغ بحيث يكون لها نفس العلاقة الهندسية بالنسبة لجاراتها ينجم عن ذلك حلزون. ويمكن تشبيه ذلك بسلم حلزوني تنتقل فيه الدرجة الأولى إلى الدرجة التالية، بدورانها حول محورها ثم التفافها حول محور السلم. وبنفس العملية تتحول الدرجة الثانية إلى الثالثة، والثالثة إلى الرابعة وهكذا.

وبالبحث عن حلزونات تكون فيها كل مجموعة أميدية في سلسلة البيببتيد متصلة برابطة هيدروجينية بمجموعتين أخريين وجد اثنين فقط أحدهما لا يوجد في البروتينات،

أما الآخر فيعرف بحلزون ألفا، والمعتقد أنه موجود في عدة بروتينات.

ويوجد في حلزون ألفا ما يقرب من ٣.٦ أساس حامض أميني في كل لفة من لفات الحلزون– وربما تغير هذا الرقم ولكن بقدر يسير. وكان الافتراض الأول أن عدد الأسس في كل لفة هو بين ٣.٦٠، ٣.٦٧ وكانت التجارب الدقيقة تتراوح بين ٣.٦٠٠، ٣.٦٢٥ ومطابق الرقم ٣.٦٠ عدد ١٨ أساس حامض أميني في كل خمس لفات الحلزوني. وقد استنتج أن عمق الحلزون أو المسافة بين لفة وأخرى هو ٥.٤ أو وحدة أنجوستروم. ويطابق هذا الرقم ١.٥٠+ ٠٣. وحدة أنجوستؤوم لطول محور أساس الحامض الأميني، أو المسافة بين درجة وأخرى من درجات السلم الحلزوني– كما استنتج أن قطر الجزيء بما في ذلك السلاسل الجانبية هو ١٠.٥ وحدة أنجوستروم.

حلزون ألفا هو الصورة التركيبية لسلسلة البوليببتيد. ويوضحه النظام الثلاثي الأبعاد للاتصال الموجود بين كل مجموعتي أميد عن طريق ذرات الكربون. وتبدو مجموعات الأميد (الذرات داخل المربعات) مسطحة، بينما المجموعات الجانبية **R** تبرز إلى البعد الثالث خارج مستوى مجموعات الأميد. وقد أغفلت في هذا الشكل الزاوية في البعد الثالث الناشئة عن وصلة الكربون بين أول مجموعتي أميد في الجزء الأسفل على يسار الشكل.



وقد تبين بعد ذلك مباشرة أنه ربما مثل حلزون ألفا التركيب، الموجود في الشعر وأظافر الأصابع والقرون والعضلات وغيرها من البروتينات المعروفة لكيراتين ألفا، ومع ذلك فان التوافق بين نمط الأشعة السينية المستنتجة لجزيئات بهذا الشكل مرصوصة بعضها بجانب البعض في وضع متواز لم يكن كاملا. إلا أن ذلك تأيد عندما تمكن العلماء الانجليز ك.هـ بافورد، و. ي. هايني، ف. هابي من الحصول على صور الأشعة السينية لبعض البوليببتيدات المخلقة التي تكون فيها جميع أسس الأحماض الأمينية في سلسلة البوليببتيد متشابهة كيميائيا، ونشرت هذه الصور في أوائل عام ١٩٥١ ووجد أنها تتفق تماما مع نمط الأشعة السينية المقترح لحزمة من حلزونات ألفا، مركبة في مجموعات سداسية، وكانت أوضع وشدة انعكاس الأشعة السينية مطابقة تماما للقيم المحسوبة، لحلزون محتو على ١٨ فضلة حامض أميني في كل ٥ لفات.

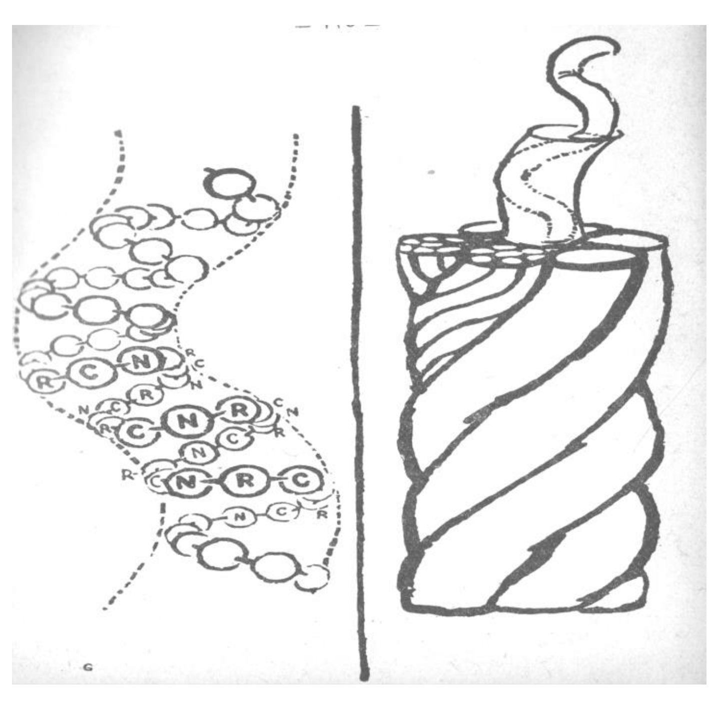
وهناك تشابه عام بين صور الأشعة السينية للبوليببتيدات المخلقة والنظام الموجود في شعر الخيل. ويعطي هذا التشابه بعض التعضيد للفكرة القائلة بأن حلزونات ألفا موجودة في الشعر، كما في البوليببتيدات المخلقة أيضا؛ إلا أن التشابه ليس كبيرا حتى يعتد به. وقد قدم الدليل القاطع العالم ماكس بيروتز بمعمل كافينوس بجامعة كامبردج، الذي أشار بأن أقوى انعكاس للأشعة السينية، الذي يتفق مع مسافة ١.٥ وحدة أنجوستروم، يجب أن تتوقعه من المواد المحتوية على حلزون ألفا، وأن فضلات الأحماض الأمينية التي تفصلها عن بعضها البعض مسافة ١.٥ وحدة أنجوستروم، على طول محور الحلزون، تتعاون بعضها مع بعض على تفرقة الأشعة السينية الساقطة في الاتجاه الذي يعطي هذه الصورة.

وقد جهز بيرونز صورا فوتوغرافية للأشعة السينية لبوليببتيدات مختلفة، وعدة بروتينات تكون أليافها منحرفة بالزاوية الصحيحة، حتى يبدو هذا الانعكاس على اللوح الحساس، ووجد أن هذا الانعكاس ينتج في الواقع من البوليببتيدات المخلقة للشعر والأظافر وبشرة الجلد، وغيرها من البروتينات التي تعطي صورة للأشعة السينية للكيراتين ألفا.

وهناك فارق واضح مميز بين صور الأشعة السينية لشعر الخيل والصور المتوقعة لنظام حلزونات ألفا في مجموعات سداسيو، وهو وجود انعكاس شديد فوق وتحت النقطة المركزية. ففي صور البوليببتيدات المخلقة، توجد انعكاسات شديدة على جانبي هذه النقطة. ومنذ وقت قريب اقترح علماء معهد كاليفورونيا الفني، ف. هـ كريج بجامعة كامبردج، كل على حدة، أن الانعكاسات الرأسية القوية ناجمة عن وجود جزيئات في حلزون ألفا ملتف بعضها حول بعض لتكون ما سماه كريج ملفات ملفوفة. وربما نتج التفاف حلزون ألفا ليكون حلزونا مركبا (كما هو في الشكل؟؟) عن قصر أو طول الروابط الأيدروجينية في حدود ٢.٧– ٢.٩ وحدة أنجوستروم بطريقة منظمة. ويوضح تركيب كبراتين ألفا (الموضح في الرسم) كل هذه الحقائق. وقد جد في مثل هذا التركيب صفائر سباعية الخيوط، قطر كل منها ٣٠ وحدة أنجوستروم، مكونة من ست حلزونات ألفا، ملتفة حول حلزون ألفا وسطى. وهذه الضفائر مرتبة في نظام سداسي ويشغل المسافات بينها حلزونات ألفا إضافية.

وواضح أن صور الأشعة السينية لشعر الخيل لا تعطينا المعلومات الكافية عن تركيب كيراتين ألفا الكامل. ومع هذا فانه مما لا شك فيه أن الشعر وغيره من البروتينات المماثلة مركب من سلاسل بوليببتيدية على نظام حلزون ألفا. وأن هذه السلاسل ملفوف بعضها حول بعض. وليس محتملا أن تكون الطريقة التي تلتف بها هذه السلاسل مخالفة لما هو في الرسم، ولو أن هناك احتمال في أن تكون مختلفة في بعض الشيء.

وتغرينا بساطة الحلزون كأساس تركيبي، والطريقة التي يتكون بها تلقائيا.



ويوضح هذا الشكل الطريقة التي تكون بها سلسلة البوليببتيد المكونة من مجموعات أميد (انظر الشكلين السابقين) حلزون مركب أو ملف ملفوف (في الرسم الأيسر) ويوضح الرسم الأيمن النموذج المستنتج لتركيب سوط البكتريا، وهو جزء من البكتريا يظهر تحت المجهر. وهذا النموذج هو ضفيرة سباعية الخيوط، مكونة من ضفائر سباعية الخيوط، تكون فيها الخيوط المكونة هي الملفات الملفوفة لسلاسل البوليببتيد.

من تكرار عملية لا يتحول منها جسم غير متناظر إلى صورته المرتبة، يغرينا كل ذلك بالبحث عن هذا التركيب الحلزوني في المركبات الكبيرة، وقد كلل هذا البحث بالنجاح عندما فحصت الصور الميكرو ألكترونية لأسواط البكتريا، هذه الشوارب التي تشبه السوط والتي تزود بها بعض فصائل البكتريا؛ كما أوضحت صور انحرافات الأشعة السينية أن مثل هذه الأسواط من نوع كيراتين ألفا، مما يدل على وجود حلزونات ألفا.

ويبدو في الصور الميكر ألكترونية التي تكبر ما يزيد على ٣٠ ألف مرة أن السوط مكون من ثلاثة خيوط كل منها ٩٠ وحدة أنجوستروم ملفوف بعضها حول بعض. ورغم

أن الطريقة التي تتركب بها هذه الخيوط من حلزونات ألفا غير معروفة إلا أنه يمكن تصور تركيبها كالآتي:

بما أن قط الضفائر ذات السبعة الخيوط التي ذكرت سابقا، هو ٣٠ وحدة أنجوستروم، فلو تصورنا أنه تكونت ضفيرة سباعية مكونة بنفس الطريقة من سبع هذه الضفائر السباعية الخيوط، لكان عرضها ٩٠ وحدة أنجوستروم. ومن ثم نجد نه عندما تدرس هذه الأسواط بتعمق أكبر يمكن وصفها بحبات ثلاثية الخيوط يتكون كل خيط منها من ضفيرة سباعية الخيوط، مكونة من ضفائر سباعية الخيوط من حلزونات ألفا، ومن المدهش أن أسواط البكتريا نفسها تكون حلزونا أكبر.

وباكتشاف وتطوير استخدام المجهر الألكتروني وانعكاسات الأشعة السينية، في ربع القرن الأخير حان الوقت الذي نتمكن فيه من اقتفاء أث تركيب الكائنات الحية مبتدئين بالحيوان الكانل، ثم الخلية إلى أن ننتهي بالذرة مارين بجميع الخطوات, ونأمل أن تتيح لنا المعلومات التي نجمعها بهذه الطريقة خلال الأحقاب القادمة الفرصة لفهم الحياة فهما أعمق وأدق من فهمنا لها في الوقت الحاضر.

جزيء الأنسولين

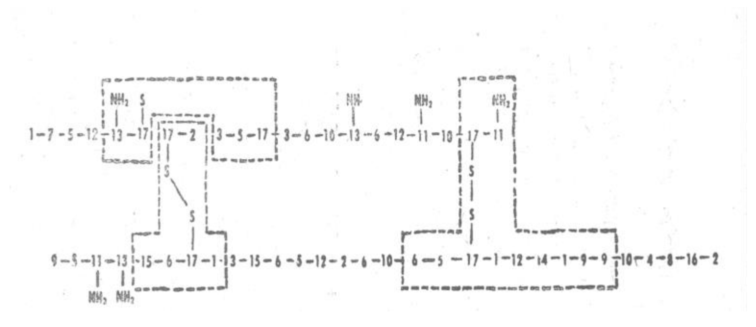
ي. و. ب. طومسن

البروتينات التي أساس الحياة من أكثر المواد التي عرفها الإنسان تعقيداً، كما أن كيمياء البروتين هي من أكبر معضلات العلم الحديث، وقد أشار جوزيف فراتون بأنه قد انقضى أكثر من قرن وعلماء الكيمياء الحيوية يحاولون أماطة اللثام عن تركيبها المعقد. ويعتبر عام ١٩٥٤ نقطة تحول في تاريخ كيمياء البروتين حين نجح فريق من العلماء في التوصل إلى التركيب الكامل لجزيء بروتيني، هو الأنسولين هرمون البنكرياس الذي يتحكم في تمثيل السكر في الجسم.

وبمعرفة تركيب جزيء الأنسولين يتسنى لعلماء الكيمياء محاولة تخليقه ومعرفة سر النشاط الكيميائي لهذا الهرمون الحيوي الضروري لعلاج مرض البول السكري، هذا بالإضافة إلى أن النجاح الذي أحرزه العلماء في جزيء الأنسولين قد مهد الطريق لمعرفة تركيب غيره من البروتينات بنفس الطريقة التي اتبعت، وبالفعل بدأ البحث في الكشف عن التركيب الكيميائي لبعضها.

ويرجع الفضل في معرفة تركيب جزيء الأنسولين إلى جهود عالم الكيمياء الحيوية البريطاني فردريك سانجر بكعاونة الباحثين بجامعة كامبردج. وكان سانجر قد أمضى زهاء عشر سنوات في دراسة مستفيضة مضنية لهذا الجزيء. وعندما بدأ أبحاثه على تركيب البروتينات في عام ١٩٤٤ اختار الأنسولين بالذات لعدة أسباب، أولها: أنه أحد البروتينات القليلة المتوافرة بدرجة كبيرة من النقاء، وثانيها: أن الكيميائيين كانوا قد قدروا بطريقة دقيقة تركيبه الذري (النسب المئوية لذرات الكربون والأيدروجين والنتروجين والأكسجين والكبريت الداخلة في تركيب الجزيء).

وثالثها: أنه بدا له أن السر في نشاط الأنسولين كهرمون كامن في تركيبه.



يبين هذا الرسم التخطيطي الجزيء الكامل للأنسولين؛ وقد أعطى لكل حامض أميني رقم خاص، ويمكن التعرف عليه من الجدول الموجود في اليمين، ويتكون الجزيء من ٥١ وحدة أحماض أمينية في سلسلتين تتكون السلسلة الأولى (العليا من ٢١ وحدة وتسمى سلسلة الجلايسايل كما تبدأ بالجلايسين (رقم ١) أما السلسلة الأخرى (السفلى) فمكونة من ٣٠وحدة، وتسمى سلسلة الفينايل الآنين لأنها تبدأ بحامض الفينايل (رقم ٩)، تتصل السلسلتان بذرات كبريت (S-S) ويوضح الشكل المقابل كيف أمكن استنتاج ترتيب الأحماض الأمينية سلسلة الفينايل الآنين، وتشير أرقام الأعمدة الرأسية إلى وضع الأحماض الأمينية في الجزيء، ويمثل كل قطعة خط مكون من خطوط قصيرة بعرض الأعمدة الممثلة للأحماض الأمينية المحتوية عليها.

وقد نجحت القطع القصيرة (المجموعة العليا) عن تحلل الأنسولين بالحامض، أما القطع الطويلة (المجموعة الثالثة والرابعة والخامسة) نتجت عن التحليل بالأنزيمات.

مجموعات الأحماض الأمينية في الأنسولين

الرقم	الاسم	عدد المجموعات في الفينايل الآنين	في الجلايسايل
١	جلايسين	٣	١
٢	الآنين	٢	١
٣	سيرين	١	٢

٤	ثلايونين	١	صفر
٥	فالين	٣	٢
٦	لوسين	٤	٢
٧	أيسولوسين	صفر	١
٨	برولين	١	صفر
٩	فينايل آلانين	٣	٢
١٠	تايروسين	٢	٢
١١	اسبارجين	١	٢
١٢	حامض جلوتاميك	٢	٢
١٣	جوتامين	١	صفر
١٤	أرجنين	١	صفر
١٥	هستدين	٢	صفر
١٦	لايسين	١	٤
١٧	سستين	٢	
		٣٠	٢١

ورغم أن الأنسولين من أصغر البروبتنات المعروفة إلا أن تركيبه هائل. فجزيء الأنسولين (المستخرج من الماشية) مكون من ٧٧٧ ذرة بالنسب التالية: **٢٥٤** ذرة كربون، **٣٧٧** ذرة أيدروجين، **٦٥** ذرة نتروجين، **٧٥** ذرة أكسجين وست ذرات كبريت. ويرجع الفضل في معرفة بعض الخطوط العامة لتركيب جزيء البروتين إلى العمل الرائع البروتين محتويا على بلايين الجزيئات فان العملية تماثل اسقاط بلايين وغيرها من القطع التي تنطبق على الكسور، ليرى كيف يمكنه الأطباق، ثم يفحص الكيميائي هذه المخلفات ويبحث عن القطع المعروفة تجميع القطع المشطورة مرة ثانية.

ويتركب الحامض الأميني من مجموعة أمين (+NH_3) ومجموعة كاربوكسيل (-COO) وسلسلة جانبية متصلة بذرة كربون، وتتشابه الأحماض الأمينية جميعها في احتوائها على مجموعتي الأمين والكاربوكسيل، وتختلف سلاسلها الجانبية فقط. وتتصل الأحماض الأمينية في جزيء البروتين باتحاد مجموعة الكاربوكسيل لأحدى الةحدات، بمجموعة الأمين للوحدة التي تليها، تصبح الرابطة (CO- NH) وتسمى برابطة البيبتيد. ويرجع السبب في تسميته الوحدات المتصلة ببعض أحماض أمينية إلى خروج جزيء الماء. ومجموعة الأحماض الأمينية المتصلة تعرف بالببتيد– فإذا اتصلت وحدتان منهما عرفت بثنائي الببتيد، وإذا اتصلت ثلاثة عرفت بثلاثي الببتيد وهكذا.

وعندما يتحلل الببتيد أو البروتين تحللا مائيا يعالج كيميائيا بحيث تدخل عناصر الماء في الروابط الببتيدية، فانه ينشطر إلى أحماضه الأمينية وتتم هذه العملية بتسخين البيبتيد مع الأحماض أو القلويات. ولكي يتسنى شطر كل رابطة بيبتيد في الجزيء، وتكسير البروتين إلى أحماضه الأمينية المكونة له يجب تسخينه لمدة ٢٤ ساعة على الأقل، فإذا انقضت فترة التسخين أو كانت المعالجة أقل عنفا، كان التحلل جزئيا ينتج عنه خليط من الأحماض الأمينية، والببتيدات وبعض البروتينات السليمة. وهذه هي الطريقة المتبعة لمعرفة التركيب الكامل للبروتين.

ومن أهم الطرق التي ساعدت سانجر على حل غموض جزيء الأنسولين المحير طريقة ترقيم الحامض الأميني الأخير في الببتيد. فإذا تصورنا أن أحد أجزاء البروتين (الببتيد) مكون من ثلاثة أحماض أمينية، وبتحليل هذا الجزيء وجد أنه يتكون من الأحماض الأمينية أ– ب_ ج فإن السؤال الذي يبرز الآن: ما هو ترتيب هذه الأحماض في الببتيد؟ أن أول جزء في السلسلة ذات الثلاثة الأجزاء، لا بد أن كان له مجموعة أمين (NH_2) غير متحدة. وقد نجح سانجر في إيجاد مادة كيميائية يمكن وصلها بهذا الجزء من السلسلة، وتظل متصلة بمجموعة الأمين حتى بعد تحلل الببتيد. وهذه المادة هي د ن ف (مجموعة الداينايترو فينايل) ومن مزايا هذه المادة أنها تضفي على الحامض الأميني المتصلة به لونا أصفر مميزا. وكانت طريقة تحلل ثلاثي البيبتيد على الوجه التالي: يعالج ثلاثي

الببتيد بالمادة المميزة، ثم يشطر إلى أحماضه الأمينية الثلاثة، فنجد أن الحامض الأميني الموجود في آخر السلسلة، ولكن الحامض ب يمكن تمييزه بلونه الأصفر. ثم تكرر العملية على عيني أخرىمن ثلاثي الببتيد، غير أنها تحلل جزئيا في هذه المرة، بحيث يتبقى حامضان أمينيان في صورة ثنائي ببتيد لونه أصفر، فإذا فرض أن الحامض ب متصل بالحامض أ في هذا الجزء، فإنه يستنتج من ذلك أن الترتيب لا بد أن يكون ب. أ وأن الوضع في ثلاثي الببتيد الذي بدأنا به هو ب أ ج.

كما أنه من الطرق التي لعبت دوراً هاما في إماطة اللثام عن تركيب الأنسولين، طريقة الكروماتوجراف لفصل الأحماض الأمينية والببتيدات التي اكتشفها العلماء الأنجليز أ ج.ب مارتن، و ر. ل. م سنج. واضح أن طريقة سانجر في تحليل الجزيء تتطلب فصل ومعرفة مواد ضئيلة للغاية؛ إلا أن طريقة الكروماتوجراف لفصل الببتيدات بوضع الأحماض الأمينية على هيئة بقع على ورقة الترشيح يمكن بوساطتها فصل مكونات مخلوط قد يصل وزنه $\frac{1}{\text{مليون}}$ من الجرام من المادة بدقة متناهية في خلال عدة أيام، كما يمكن فصل عدد قد يصل إلى ٤٠ من الببتيدات المختلفة على ورقة ترشيح واحدة.

وبدأ سانجر أبحاثة في تركيب الجزيء بالتحري عما إذا كانت وحدات الأحماض الأمينية المكونة له (وعددها ٥١) متصلة في سلسلة واحدة طويلة أو مكونة من أكثر من سلسلة واحدة. ومن المعروف أن جزيء الأنسولين يحتوى على ثلاثة جزيئات من الحامض الأميني سيستين. وجزيء السيستين هذا غير عادي من حيث احتواؤه على مجموعة أمين، ومجموعة كاربوكسيل في كل من نهايتيه، ولما كان مثل هذا الجزيء قادرا على وصل السلاسل بوصلات متقاطعة فإن وجوده في الأنسولين أوحى بأن البروتين ربما تكون من أكثر من سلسلة واحدة. وفعلا أثبت سانجر أن هناك سلسلتين وأمكنه فصلهما دون أن تنكسرا وذلك بشطر وصلات الكبريت في جزيء السيستين. كما أمكنه باستخدام طريقة الترقيم بمادة د ن ف، أن يبين أن إحدى السلاسل تبدأ بالحامض الأميني جلايسين وتبدأ الأخرى بحامض الفينايل الآنين.

ثم شرع سانجر في شطر كل سلسلة إلى أجزاء، ودراسة هذه الأجزاء، وبخاصة المتداخلة منها التي تساعده على تكوين فكرة عن تتابعها. وركز سانجر اهتمامه على بداية سلسلة الجلايسين، فرقم الجلايسين بمادة د ن ف وفحص قطع الببتيدات الناتجة عن التحلل الجزيئي، فوجد سانجر في بقايا سلاسل الجلايسين المشطورة التسلسل التالي متصلا بجزيئات الجلايسين المرقومة: جلايسين. أيسولوسين– فالين– حامض جلوتاميك– جلايسين– أيسولوسين– فالين– حامض جلوتاميك– حامض جلوتاميك. وبذا أصبح واضحا أن الخمسة الأحماض الأمينية الأولى في سلسلة الجلايسين هي جلايسين، أيسولوسين، فالين وحامض جلوتاميك. كما أظهرت التجارب المماثلة التي أجريت على سلسلة الفينايل الآنين، أن الأربعة الأحماض الأمينية الأولى في السلسلة مرتبة على النحو التالي: فينايل الآنين. فالين، حامض اسبارتيك وحامض جلوتاميك.

تولى سانجر وأحد زملائه، وهو هانس توبي، مهمة إيجاد تركيب سلسلة الفينايل الآنين كلها، وكان ذلك يعني تكسير السلسلة عن طريق التحلل الجزيئي وفصل القطع المنفصلة العديدة والتعرف عليها، ثم محاولة جمع أجزاء السلسلة معا في الوضع الصحيح. وكانت هذه السلسلة المكونة من ثلاثين حامضا أمينيا، هي بلا شك أصعب بولببتيد معقد أجريت عليه مثل هذه التحاليل.

وكان المخلوط العجيب الناتج عن التحليل الجزيئي للسلسلة والمكون من أحماض أمينية وثنائي ورباعي ببتيد.. وهذا أصعب من أن تفك رموزه طريقة الكروماتوجراف وحدها. فاستخدام سانجر وتوبي أولا طرقا أخرى لفصل هذه المكونات (مثل طريقة الحمل الكهربي والامتصاص على الفحم والراتنج المستعمل في تبادل (الأيونات) مكنتها من تقسيم أجزاء الببتيد إلى مجموعات، ثم عمدا إلى فصل هذه المخاليط البسيطة بطريقة الكروماتوجراف على الورق، وبذا نجحا في عزل ٢٢ ثنائي ببتيد، ١٤ ببتيد واثنتي عشرة قطعة كبيرة من السلسلة المشطورة. ورغم حصولهما على هذه المركبات بكميات ضئيلة للغاية، إلا أنهما تمكنا من تمييزها بطرق خاصة ومعرفة ترتيب الأحماض الأمينية في الجزيء.

وكانت هذه هي القطع المفصولة الواجب تجميعها- وكما هي الحال في لغز الصورة المقطعة حيث توجد قطع تعتبر أساسية، تتجمع حولها الصورة الكاملة، فإنه بالمثل في حالة الأنسولين كانت هناك قطع أساسية تعتبر فقط بداية، فمثلا كان الاعتقاد السائد أن السلسلةتحتوي على حامض اسبارتيك واحد، إلا أنه وجد أن هناك ست ببتيدات محتويه على هذا الحامض الأميني في بقايا السلسلة الناتجة عن التحليل الجزيئي، وكان حامض الاسبارتيك متصلا بأحماض أمينية أخرى، عددها يتراوح بين ١، ٤ في هذه القطع. وظهر من ترتيبها أن الوضع كان على النحو التالي في التركيب الأصلي للسلسلة: فينايل الآنين- فالين- حامض اسبارتيك- حامض جلوتاميك- هيستدين.

كما تم تجميع قطع أخرى بطريقة مماثلة إلى أن تم تركيب خمسة أجزاء طويلة من السلسلة، بيد أنه ما زالت هناك عدة ثغرات، فلجأ سانجر وتوبي إلى طريقة أخرى للبحث عن الحلقات المفقودة، تتلخص في شطر سلسلة الفينايل الآنين بفعل الأنزيمات، بدلا من التحلل المائي بالحامض. ومن مزايا هذه الطريقة أن الأنزيمات تعمل على فصل قطع أكبر، كما أنها تترك بعض الروابط التي تتأثر بالحامض سليمة، وبذا تمكن الباحثان من الحصول على قطع بها سلاسل طويلة مكنتها من ملء هذه الثغرات، والحصول على الحلقات المفقودة.

وبعد عام من العمل المتواصل والجهد المضني تمكن سانجر وتوبي ؤمن جمع وتركيب هذه القطع وأماطة اللثام عن تركيب سلسلة الفينايل الآنين. ثم صرف سانجر بعد ذلك جهوده نحو سلسلة الجلايسين، وأمضى عاما آخر في الكشف عن تركيبها بمعاونة كاتب هذا المقال. ورغم أن سلسلة الجلايسين أقصر من سابقتها (٢١ حامضا أمينيا فقط) إلا أنها كانت أصعب مراسا حيث بدا فيها عدد قليل من القطع الرئيسية التي ظهرت مرة واحدة، وحامضان أمينيان (الجلوتاميك والسيستين) ظهرا في كثير من القطع المنفصلة بحيث كان من الصعب ترتيبهم في وضع لا يثير الجدل.

وبقيت هناك واحدة، تنتظر الفصل فيها قبل البت في التركيب النهائي لجزيء الأنسولين، ألا وهي الصورة الحقيقية لحامضين أمينين في السلسلة. فهناك بعض الأحماض

الأمينية التي تظهر في صورتين مثل حامض الجلوتاميك والجلوتامين. فحامض الجلوتاميك يحتوي على مجموعتي كاربوكسيل (Coo) بينما يحتوي الجلوتامين على مجموعة أميد ($CONH_2$) بدلا من واحدة من مجموعة الكاربوكسيل.

ويعطيهما هذا الاختلاف صفات مختلفة تماما في جزيء البروتين. وبالمثل هناك حامض الأسبارتيك والأسبارجين. ولما كان التحلل المائيي بالحامض يحول الجلوتامين إلى حامض جلوتاميك والأسبارجين إلى حامض أسبارتيك، لذا يصعب الجزم بعد تحليل البروتين بالحامض على أي الصورتين كان هذان الحامضان في السلسلة الأصلية. وقد أمكن التغلب على هذه العقبة بطرق غير مباشرة، كانت أحداها مقارنة النواتج التي يحصل عليها بعد شطر بيبتيد، مرة بالحامض ومرة أخرى بالأنزيمات التي لا تؤثر في مجموعة الأميد.

وفي نهاية عام ١٩٥٢ كانت كل من السلسلتين قد جمعت وبقي معرفة الطريقة التي ترتبطان بها معا لتكونا جزيء الأنسولين. ولم تكن هذه المشكلة بالسهولة التي تبدو بها كما جرت العادة من أن مايبدو سهلا نظريا يصعب حله عمليا.

وقد سبق أن أوضحنا أن الوصلات بين السلاسل لابد أن تكون سيستين، وذلك لاحتواء هذا الحامض الأميني على روابط متناظرة في نهايته. ولما كان جزيء الأنسولين محتويا على ثلاث وحدات من السيستين فإن ذلك يوحي باحتمال وجود ثلاث وصلات أو نقط تقاطع بين السلاسل، وبذا وجد أنه من الممكن تحديد أماكن هذه الوصلات بشطر جزيء الأنسولين شطرا جزئيا، ليعطي قطعا محتوية على السيستين وبها أجزاء من السلسلتين ما زالت متصلة بنهاية الوصلات.

وعندما بدأ سانجر مثل هذا العمل كان في حيرة من أمره، حين وجد أن الببتيدات المحتوية على السيستين لم يكن لها نظام خاص أطلاقا، إذا كان السيستين متصلا بغيره من الأحماض الأمينية، بصور مختلفة وأوضاع متباينة، كما لو كانت السلاسل متقاطعة بكل طريقة ممكنة. وسرعان ما وجد لذلك تعليلا، وهو أنه أثناء التحلل المائي للأنسولين تفتح

روابط الكبريت، وبذا تسمح بمختلف الأوضاع والصور داخل الببتيدات. ثم بدأ سانجر ومساعده أ. ب رايل في دراسة هذه التفاعلات، ونجح في إيجاد مواد كابحة لهذه التفاعلات.

وأخيرا تمكن سانجر ومساعده ل. ف سميث دورث كيتي عن طريق عدة تحاليل معقدة، استخدموا فيها التحلل الحامضي والأنزيمات، من تحديد أماكن الوصلات بالضبط وحصلوا على الصورة الكاملة لجزيء الأنسولين (الموضحة في الرسم) وكانت هذه هي المرة الأولى التي يتمكن فيها أخصائي الكيمياء الحيوية، من الاطلاع على ترتيب الأحماض الأمينية في جزيء بروتين.ويبدو هذا العمل الخارق مدهشا لأولئك الذين عملوا في هذا المجال عشر سنوات مضت.

والطريق لمعرفة كيف يحدد تركيب جزيء الأنسولين نشاطه، كهرمون مازال وعرا طويلا، كما سيكون تحضير الجزيء بتخليقه صعبا، وبمجرد اتمام ذلك سيكون في الإمكان دراسة تأثير تركيب الجزيء، والتغييرات التي تعتريه على خواصه الفسيولوجية. وواضح أنه لن يكون للتغيرات الطفيفة تأثير على خواص الجزيء الفسيولوجية خاصة بعد أن أثبت سانجر أن الأنسولين المستخلص من الخنازير والأغنام والأبقار له نفس الأثر الفسيولوجي إلا أنه يختلف قليلا في التركيب.

وتتبع حاليا الطرق التي ثبت نجاحها مع الأنسولين بالإضافة إلى غيرها، من الطرق الحديثة لدراسة بروتينات أكبر حجما. ومن بين هذه الطرق طرق جديدة لفصل الأحماض الأمينية من سلسلة الببتيد واحدا لعد الآخر. وطبيعي أن مثل هذه الطريقة أفضل من طريقة التحليل التي تفصلهما كيفما اتفق. وسوف يكون النجاح أسرع إذا بدأ عدد كبير من أخصائي الكيمياء الحيوية، يوجهون جهودهم نحو المشكلة الهامة، وهي علاقة تركيب البروتينات بوظائفها الفسيولوجية.

الباب الثالث

الوراثة

كيمياء الوراثة

الفريد. ي. ميرسكي

يتمثل أجدادنا في الكروموسومات الموجودة في أجسامنا، وتلاحقنا صفاتهم الوراثية لتؤثر في كيمياء جميع خلايا أجسامنا، ومما لا شك فيه أن الكيمياء هي الأداة الفعالة للوراثة وأن الجينات (Genes) هي عوامل الوراثة، تتوقف على التركيب الكيميائي للكروموسومات. فنمو الكروموسومات و انقسامها، عمليات كيميائية،و كذلك قدرتها على التأثير في باقي الخلية؛ وعلى ذلك فإن العوامل الوراثية تتم بوساطة عمليات كيميائية. فمثلا عندما يؤثر كروموسوم في لون عيون شخص ما، فإنه لابد وأن يكون هذا الكروموسوم قد اشترك بطريقة ما، في التركيب الكيمائي لأحد صباغ التي تلون العين.

وبذا تعتبر دراسة كيمياء الكروموسومات دراسة للحياة على مستوى عناصرها، ويسرد هذا المقال نبذة لما توص إليه العلماء في دراسة هذا الموضوع الساحر.

تحتوى الخلية النباتية والحيوانية على نواة، يوجد بداخلها عدد معين من الكروموسومات، يتوقف عددها على فصيلة النبات أو الحيوان. وتشغل النواة مساحة تتراوح بين $\frac{\square}{\square\square\square}$، $\frac{\square}{\square}$ حجم الخلية، ويشغل السيتوبلازم باقى الخلية. وللكروموسومات طابعها الخاص، كما أنها تختلف عن الكروسومات الأخرى في نفس المجموعة، وتوجد الجينات بداخل هذه الكروموسومات مرتبة ترتيبًا طوليًا.

ويبدأ تكوين الجنين الجديد، عندما تتحد نواة خلية البويضة مع أواة خلية الحيوان المنوى، ليكونا خلية واحدة– وبذا تحتوى البويضة المخصبة على مجموعتين من الكروموسومات (مجموعات من كل من الخلية الأصلية). وتكون المجموعتان متكافئتين

(فيما عدا الكروموسومات المتعلقة بالجنس) وهكذا يوجد زوج من كل نوع من الكروموسومات. ثم تنقسم الخلية لتبدأ في تكوين خلايا جسم الكائن الجديد بنظام بديع رائع، يبدو تحت المجهر كما لو كان أحد رقصات الباليه في القرن الثامن عشر. وينمو كل كروموسوم في الحجم ثم ينشطر طوليًا إلى نسختين مشابهتين للكروموسوم الأصلي. ثم تنفصل أزواج الكروموسومات وتجذبها مجموعتان من الخيوط الرقيقة إلى الطرفين المقابلين للخلية. وفي نفس الوقت ينفصل الغشاء المحيط بالنواة حتى لا يكون عائقًا لا تتقال الكروموسومات. ويتبع ذلك تكتل مجموعتى الكروموسومات في طرفين متقابلين من الخلية. وبمجرد انفصال المجموعتين تختفى الخيوط الرقيقة ويتكون غشاء حول كل مجموعة. وينتج عن ذلك تكوين نواتين، تحتوى كل منهما على العدد الكامل من أزواج الكروموسومات الموروثة من الخليتين الأصليتين. وتحاط النواتان الجديدتان بالسيتوبلازم. ولما كان السيتوبلازم ينقسم بطريقة تختلف عن انقسام النواة، فإن الخليتين الجديدتين ربما احتوتا على كميات غير متساوية من السيتوبلازم. ويتكون جسم الكائن الجديد من انقسام اثر انقسام وهلم جرا. و تحمل كل خلية من خلايا جسمنا سواء اكانت خلايا كبد ام مخ ام كلية، كروموسومات و جينات من كل من الخليتين الأصليتين. و يمكن مشاهدة هذه الظاهرة بوضوح تحت المجهر في ذبابة الفاكهة المسماة بالدوروسوفيلا، وذلك لأن كروموسومات خلايا الغدة اللعابية ليرقات ذبابة الفاكهة كبيرة بدرجة تسمح بدراسة التفصيلات الدقيقة لتركيبها و إثبات أن عوامل الوراثة الموروثة عن الأبوين موجودة في كل زوج من الكروموسومات. و قد ثبتت العلاقة بين الكروموسومات والوراثة عن طريقة تجارب التناسل. والمشاهدات المجهرية وكانت تجارب التناسل هي التي أثبتت أن الكروموسومات تحمل عوام الوراثة. وبرهنت تجارب التناسل التي أجريت في السنوات الأخيرة على عفن الخبز المسمى بالنيور سبورا بصورة قاطعة، على أن عوامل الوراثة في الكروموسومات لها تأثير منظم على عدة عمليات كيميائية في الخلية.

ثم جاء الدليل القاطع على تأثير النواة المباشر على الخلية بأسرها، عن طريق بعض

التجارب التي أجراها البيولوجي الألماني يواكيم هيمر لنج عام ١٩٣١، وكان قد أجرى هذه التجارب على الأسيتابيلاريا، وهو نبات أخضر ذو خلية كبيرة على شكل المظلة، توجد نواتها الصغيرة في الجزء الذي يشبه يد المظلة. وإذا قطع رأس المظلة (القبعة) يتكون مكانه رأس آخر يشبه الجزء المنفصل تمامًا. وهناك أنواع مختلفة من الأسيتابيلاريا لكل منها قبعة مميزة الشكل. وقد وجد هيمر لنج أنه إذا فصل قبعة ونواة أحد هذه النباتات، وزرع في الجزء المتبقى نواة منزوعة من فصيلة أخرى من الأسيتابيلاريا، فإن القبعة الجديدة التي تتكون تشبه الفصيلة الثانية. كما تمكن هيمر لنج من زرع نواتين مختلفتين في قاع مظلمة، وكانت النتيجة أن القبعة الجديدة التي تكونت جاءت وسطًا في الشكل بين أشكال النباتين اللذين نزعت نواتهما.

ودرس أيضًا تأثير النواة على عمليات التمثيل، وذلك بنزعها من الأميبا (كائن وحيد الخلية). وكان معروفًا منذ وقت طويل أن مثل هذه العملية تبطئ عمليات التمثيل في الخلية. غير أن دانيي مازيا، بجامعة كاليفورنيا، أجرى مثل هذه البحوث مستخدما نظيرًا مشعا للفوسفور؛ ذلك العنصر الذي يلعب دورًا هامًا في تمثيل الخلية.

وتدل السرعة التي تدخل بها الذرات المشعة في مركبات جديدة داخل الخلية على سرعة الخلية لتمثيل الفوسفور. وقد شطر مازيا عددًا ن الأميبا نصفين: نصفًا يحتوى على النواة، ونصفًا دون نواة، ووضع الأجزاء المحتوية على النواة في وعاء واحد، والأجزاء الخالية من النواة في وعاء آخر. ثم زود المجموعتين بفوسفات مشع لفترة متساوية من الوقت فوجد أن الأجزاء المحتوية على النواة أدخلت الفوسفور المشع في مركباتها الفوسفورية المعقدة بالدرجة العادية، بينما أدخلت الأجزاء الخالية من النواة الفوسفور في تركيبها بدرجة تقل كثيرًا وقد أظهرت هذه التجربة أن النواة رغم كونها جزءًا ضئيلاً من الأميبا لها تأثير حاسم على تمثيل الفوسفور في الخلية كلها.

وكان من الطبيعي أن يسوقنا التفكير إلى التساؤل عما إذا كان الجهاز الكيميائي، الذي تتحكم بوساطته الكروموسومات في جميع أوجه نشاط الخلية، يمكن نسبته إلى مادة خاصة موجودة فيها– أن الكروموسومات تحتوى فعلاً على مادة خاصة هي

حامض ديزوكس رايبونيوكليك أو **DNA** باختصار. ومادة **DNA** هذه خاصة بالكروموسومات، وهي غير موجودة في أي جزء من الخلية سواء في النواة أو السيتوبلازم، كما ثبت ذلك بتفاعل فولجن الشهير منذ عدة سنوات. وكان عالم الكيمياء الحيوية الألماني روبرت فولجن قد اكتشفت أنه إذا سخنت مادة **DNA** مع حامض قوى، ثم عولجت بطريقة خاصة بمادة أسيدفوكسين تأخذ لونا قرمزيا فاقعًا. وكان قد أجرى تجاربه هذه في أنبوبة الاختبار ولم يجربها على الخلايا الحية إلا بعد ذلك بعشر سنوات. وسره كثيرًا أن مثل هذه المعاملة لم تتلف الخلايا، وأن شبكة الكروموسومات في كل خلية قد صبغت بلون فاقع، بينما بدا باقي الخلية عديم اللون. ومنذ هذا الوقت وعلماء البيولوجيا يجرون تفاعل فولجن على جميع أنواع الخلايا النباتية والحيوانية، ووجدوا أن الكروموسومات بوجه عام تعطى نتيجة إيجابية مع تفاعل فولجن، بينما يعطى باقي الخلية تفاعلا سلبيًا. ويعنى هذا أن مادة**DNA** موجودة في الكروموسومات، وليست في الأجزاء الأخرى من الخلية، أو بمعنى أدق ليست موجودة بكميات نسمح بإعطاء نتيجة إيجابية مع تفاعل فولجن.

وهناك حقيقة غريبة أخرى عن مادة **DNA** وهي أن جميع خلايا الجسم المختلفة تختلف كثيرًا في التركيب الكيمائي؛ فخلايا الكبد والكلي والقلب والطحا وغيرها تختلف من حيث نوع وكمية المواد التي تحتويها؛ غير أن كل خلية في الجسم بغض النظر عن نوعها تحتوي على نفس كمية **DNA** في نواتها بخلاف خلية البويضة والحيوان المنوى، التي تحتوي على نصف عدد الكروموسومات الموجودة في خلايا الجسم فتحتوي على نصف كمية **DNA**.

كيف يمكن تقدير كمية **DNA** في النواة؟ لقد قدرت هذه الكمية لأول مرة في الدجاج المنزلي على النحو التالي: تؤخذ عينة من دم ديك مثلا، وتحصى الكرات الحمراء في حجم معين من هذا الدم ثم تقدر كمية **DNA** في هذا الحجم وتقسم على عدد كرات الدم الحمراء، وبذا يمكن تقدير كمية مادة **DNA** في الكرة الحمراء الواحدة. وقد وجدت هذه الكمية تساوى $\frac{2.3}{100 \text{ مليون}}$ من المليجرام لكل نواة. كما

قدرت كمية DNA في خلايا الحيوانات المنوية للديك، ووجدت $\frac{1.2}{100\text{مليون}}$ من المليجرام أو نصف الكمية الموجودة في الكرة الحمراء.

ولعد الخلايا في أنسجة الجسم المتماسكة مثل الكبد والطحال والكلي أو ما شابهها، يتعين تفكيك الخلايا وتعويمها في سائل، ولاتمام ذلك تغمس قطعة من الكبد مثلا في حامض الليمونيك (الستريك)، ثم تمزق اربا في خلاط ذي سرعة عالي فتتكسر الخلايا، بينما تظل النوايا سليمة. ولما كانت النوايا أثقل من مخلفات الخلية لذا يمكن فصلها في جهاز النابذ، ثم تعوم النوايا النظيفة في محلول حامض الستريك وتعد، ثم تقدر كمية مادة DNA في النواة بنفس الطريقة التي اتبعث مع كرات الدم الحمراء.

وقد قدرت كمية مادة DNA في الأنسجة المختلفة لعدد من الحيوانات ووجد أن في الفصيلة الحيوانية الواحدة تكون كمية مادة DNA في النواة تقريبًا متساوية (في حدود ١٠% خطأ)، سواء أكانت الخلايا خلايا كبد أم بنكرياس أم طحال أم دم. غير أنه لكل فصيلة كمية DNA المميزة لها– ففي الضفدعة مثلا تكون هذه الكمية $\frac{15}{100\text{مليون}}$ ملليجرام لكل نواة، وفي سمك الشبوط $\frac{2}{100\text{مليون}}$ وفي السلحفاة الخضراء $\frac{5.3}{100\text{مليون}}$ وكان قد أجرى هذه التجارب، التي سبق وصفها، فريقان من الباحثين كل على حدة. أحدهما في ستراسبورج تزعمه المرحوم أندريه بوفين ومساعدوه ومكاس فندرلى. والفريق الآخر بمعهد روكفلر للبحوث الطبية بوساطة هانس ريس بالاشتراك مع كاتب المقال. وقد استنبط كاتب المقال وريس طريقة أخرى يمكن بواساطتها تقدير كمية DNA في نواة واحدة، بدلاً من حساب المتوسط لمجموعة من النوايا، ويمكن بهذه الطريقة التوصل إلى بعض الحقائق التي لا يتيسر الحصول عليها بالطريقة الأولى.

وتعتمد الطريقة الجديدة على تفاعل فولجن. وتتلخص في وضع الخلايا التي صبغت نواتها بتفاعل فولجن على شريحة مجهر، ثم تثبت خلية كهرضوئية مكان العدسة العينية للمجهر، ثم تقاس كمية الضوء الممتص بوساطة صبغة النواة. وبتقدير كمية

الضوء الممتص لمجموعة من النوايا، معروفة كمية DNA فيها، نحصل على مجموعة من التقديرات القياسية الممتص، وبمعرفة هذه العلاقة يمكن تقدير كمية DNA لبعض النوايا التي كان يصعب تقدير كمية مادة DNA فيها بالطرق الأخرى.

فهناك في الجسم مثلا بعض النوايا، التي تحوى من زوجين إلى أربعة أزواج من مجموعات الكروموسومات، بدلاً من زوج واحد –كما هو مألوف– وتسمى هذه النوايا "بوليبلويد" وحسب القاعدة يجب أن تحتوى هذه النوايا على ضعفى أو أربعة أضعاف كمية DNA الموجودة في النوايا العادية لنفس الحيوان. وفعلاً أظهر الضوء الممتص من الخلايا الفردية صحة هذا الزعم– فمثلاً وجد أن خلايا الكبد للفأر اتي بها مجموعة واحدة أو اثنتان أو أربع من الكروموسومات في النوايا، تحتوي على كمية من مادة DNA بالنسب التالية ١: ٢:.

و هكذا يتضح أنه توجد كمية معينة من مادة DNA في كل مجموعة من الكروموسومات، سواء أكانت في البويضة أم في الحيوان المنوي، وضعت هذه الكمية في أزواج الكروسومات الموجودة في معظم الخلايا. ويتضح من هذا أن مادة DNA وثيقة الصلة بعوامل الوراثة في الكروموسومات، ويحتمل جدًا أن تكون جزءًا من المادة التي تتكون منها عوام الوراثة. وطبيعي أن تحتوي الكروموسومات على مواد أخرى بجانب مادة DNA (مثل البروتينات المختلفة) إلا أنه مأمن مادة من المواد المعروفة الأخرى، موزعة في النوايا بنفس الطريقة المنظمة.

وهناك من الباحثين من يعتقد أن بعض خلايا الجنين النامي تحتوي على كمية من مادة DNA أكبر من المألوف بالنسبة لخلايا الجنين– غير أنه لا يمكن الجزم في الوقت الحاضر بما إذا كانت تقديراتهم صحيحة، أو اعترت تجاربهم بعض الأخطاء العملية؛ وحتى لو فرض وجود مثل هذا الشذوذ في توزيع مادة DNS فإن ذلك لا يكون مدعاة للغرابة، إذا أخلنا في اعتبارنا تعدد أنواع الخلايا وتباينها.

وهناك للقاعدة التي تقول: إن مادة DNA مقصورة على نواة الخلية استثناء

واضح إلا أنه الاستثناء الذي يثبت القاعدة. فقد وجدت مادة **DNA** أو مادة شبيهة بها في سيتوبلازم خلايا البويضة لكائنات عديدة. وبالفعل وجد أن هذه الخلايا تحتوي على كمية من هذه المادة في سيتوبلازماتها أكثر مما في النواة نفسها. ومعظم خلايا البويضة كبيرة، وتحتوي على مواد ضرورية لنمو الجنين، وقبل التلقيح بفترة طويلة تمد الخلايا المحيطة بالبويضة، والمسماة بخلايا الحضانة، البويضة بهذه المواد. وقد أثبت البيولوجي البولندى م. كوناباكي عام ١٩٣٦ أن خلايا الحضانة في بعض الحيوانات تكون مادة **DNA** وتمد بها خلية البويضة مع غيرها من المواد الغذائية اللازمة. وتقى مادة **DNA** في السيتوبلازم حتى يتكون الجنين. كما وجد د.س كوبر بجامعة وسكونس حديثًا أن خلايا الحضانة في النبات تقوم بنفس المهمة، وأثبت أن مادة **DNA** مشتقة من نوايا خلايا الحضانة وبذانجد أن مادة **DNA** الموجودة في سيتوبلازم خلية البويضة مصدرها نوايا خلايا الحضانة، ومالها الحتمي نوايا الجنين. أو بمعنى آخر، أن مادة **DNA** في سيتوبلازم البويضة هي في منتصف الطريق من نواة إلى أخرى. وهناك في سيتوبلازم خلية بويضة واحدة، ما يكفى نوايا آلاف الخلايا التي ستتكون من البويضة الواحدة الملقحة، كما أثبت ذلك تجارب ى. زيفين، ى. هوف. جورجنس في كوبنهاجن.

والآن فلندخل في اعتبارنا بعض التجارب التي أنارت الطريق لمعرفة الدور الذي تلعبه مادة **DNA** في الكروموسومات. وكانت هذه التجارب قد بدأت إحدى المشاهدات غير المألوفة، التي لاحظها البيكتريولوجى الإنجليزي فريد جريفيت، عندما كان يقوم بأبحاثه على النيموكوكس (مكروب مرض الالتهاب الرئوي). وهناك أنواع مختلفة من هذا الميكروب ويمكن تصنيفها حسب التركيب الكيميائي للغلاف الصمغى الي يحيط بالخلية، والذي يختلف من نوع لآخر من أنواع هذا الميكروب، إذ أن لكل منها غلافه الخاص. وعندما يزرع النيموكوكس تحت ظروف معينة فإنه يفقد غلافه ويكون خلايا عديمة الغلاف. وتتلخص تجارب جريفيت في استخدامه مزرعتين من النيموكوكس: إحداهما ذات غلاف من الصنف رقم ٣. والثانية كان لها غلاف من

الصنف رقم ١ ثم فقدته. وأمات جريفيت الخلايا ذات الغلاف من الصنف رقم ٣ بتسخينها في الماء، ثم حقن هذه الخلايا الميتة مع خلايا حية دون غلاف من الصنف رقم ١ في فأر. وبعد مرور فترة مناسبة فحص جريفيت الفأر، فوجد نيموكوكسا من الصنف رقم ٣ ذات الغلاف ينمو بسرعة فائقة في أنسجة الفأر. ومن المؤكد أن الخلايا الميتة من الصنف رقم ٣ لا يمكن أن تكون قد تكاثرت ولزيادة التأكد من ذلك حقن جريفيت خلايا ميتة ذات غلاف من الصنف رقم ١ في عدة فئران فلم تتكاثر إطلاقًا؛ وكانت النتيجة التي خرج بها جريفيت واضحة، وهي أن الخلايا الحية غير المغلفة من الصنف رقم ١ هي التي تكاثرت، غير أنها تحولت إلى خلايا مغلفة من الصنف رقم ٣ وبطريقة ما نقلت الخلايا المغلفة الميتة صفاتها الوراثية إلى الخلايا الحية غير المغلفة، ولا بد أنها نقلت إلى خلايا الصنف رقم ١ المقدرة على تكوين غلاف صمغى من الصنف رقم ٣.

وقد أيد مارتن داوسن بمعهد روكفلر نتائج جريفيت ووجد طريقة لإجراء هذه التجارب داخل أنبوبة الاختبار، بأن زرع خليطًا من الخلايا الحية والميتة في محلول غذائي داخل أنبوبة الاختبار. فكانت النتيجة (كما في تجارب الفئران) أن الخلايا المغلفة الميتة نقلت صفاتها الوراثية إلى الخلايا الحية غير المغلفة. كما أجرى جيمس. ل الواى بمعهد روكفلر تجربة أخرى هامة، وذلك عن طريق الاستعانة بالظاهرة التالية: إذا وضعت خلايا النيموكوكس في محلول من أملاح الصفراء فإن الخلايا تتحلل وتبدو كأنها تذوب تاركة محلولاً رائقًا. وأثبت الواى أن الخلايا المغلفة الميتة قادرة على نقل صفاتها الوراثية حتى بعد ذوبانها في هذا المحلول. ومجمل القول أنه يبدو أن هناك مادة معينة في الخلية، وليست الخلية كلها مسئولة عن نقل الصفات الوراثية.

وأصبحت المشكلة الآن محصورة في اقتناص هذه المادة في مخلفات الخلية المتحللة أو المذابة. وقد أخذ و. ت أمرى وماكلين ماكرتي وكولين ماكلويد بمعهد روكفلر على عاتقهم القيام بهذه المهمة، وسرعان ما أبعدوا احتمال الغلاف الصمغي عندما أزالوا هذا الغلاف بفعل أنزيم يحلله، ووجدوا أن مخلفات الخلية ما زالت لها القدرة على نقل

الصفات الوراثية. ثم لجأ هؤلاء الباحثون إلى إزالة البروتين الذي يكون الجزء الأكبر من مادة الخلية من مخلفات هذه الخلايا، وذلك بإتباع طريقة تسمح بترك المواد المتبقية في الخلية سليمة دون تلف. وبذا أمكنهم ابعاد احتمال البروتين كمصدر هذه المادة إذ أن ما تبقى من الخلايا الميتة ما زالت له القدرة على نقل الصفات الوراثية.

وباستبعاد الغلاف الصمغى وبروتين الخلية أصبح واضحًا أن المادة المرجوة يحتمل أن تكون مادة DNA؛ وفعلاً أثبتت التجارب التي أجريت بعد ذلك: أن هذا هو واقع الحال، إذ أنه عندما تحللت مادة DNA المتبقية في الخلية بفعل أنزيم خاص يعمل على تحللها، فقدت بقايا الخلايا القدرة على تكوين غلاف صمغى.

وتعتبر مادة DNA على درجة كبيرة من التخصص – فإذا أضيفت مادة DNA المستخلصة من نوع آخر من النيموكوكوس إلى خلايا غير مغلفة، فإن الخلايا التي تتكاثر تكون من النوع الذي استخلصت منه مادة DNA وهناك نوع خاص من هذه المادة لكل نوع من أنواع النيموكوكوس.

ويعطينا نقل مادة DNA للصفات الوراثية في النيموكوكوس مثلاً واضحًا لآخر المبادئ الأساسية في الوراثة. أن ما يورث فينا من جيل لآخر ليس هو صبغة مميزة للعين أو فصيلة دم أو غيرها من الصفات الوراثية الأخرى، بل هو مجموعة عوامل في الكروموسومات لها القدرة على التأثير في نشاط الخلايا، حتى تتكون صبغة مميزة أو بعض المواد المسئولة عن فصيلة الدم. وفي حالة النيموكوكوس نجد أن مادة DNA الموجودة في كروموسومات النيموكوكوس تؤثر على الخلية الموجودة فيها لتكون نوعًا خاصًا من الغلاف الصمغى.

ترى ما هو التركيب الكيميائي لهذه المادة الفعالة؟ لقد اكتشف DNA بادئ الأمر في الخلية، عالم الكيمياء الحيوية السويسرى فريدريك ميشير عام ١٨٦٩ وكان يقوم بأبحاثه على خلايا الصديد في معمل هوب زيللر أحد أئمة الكيمياء الحيوية في ذات الوقت.

وكان ميشير قد بدأ تجاربه حسب التعليمات التي رسمها له أستاذه هوب زيللر، لما لم تؤد إلى الغرض المطلوب أخذ يبحث فعل أنزيم البيبسين (أنزيم العصارة المعدية الذي يهضم المواد البروتينية) على هذه الخلايا. وعلى غير عادة علماء الكيمياء الحيوية كان ميشير يفحص الخلايا التي يستخلص منها بعض المواد فحصًا مجهريًا. فلاحظ تحت عدسة المجهر أنه بعد أن حلل البيبسين الحامض بروتين الخلايا الصديدية، بقيت النواة سليمة تقريبًا، في الوقت الذي تآكل فيه تركيب الخلية؛ بيد أن النواة انكمشت في الحجم. وبعد انتهاء عملية التحلل البيبسيني كان معظم محتويات الخلية قد ذاب في المحلول، فبدأ ميشير يفحص ما تبقى من الخلية ويحلله تحليلاً كيمائيًا، ولم يبق من الخلية سوى النواة المنكمشة، فوجد تركيبها يختلف عن أية مادة أخرى سبق فصلها من الخلايا، وسمى هذه المادة "نيوكليين" على أساس أنها موجودة في نواة الخلية.

وكان هوب زيللر متشككا في أمر هذه النتائج بادئ الأمر، إلا أنه سرعان ما أقنع نفسه بصواب البحث، وفي هذا الوقت رجع ميشير إلى مدينة بال مسقط رأسه، وهناك استمر في أبحاثه على النيوكليين، ولحسن الحظ كانت مدينة بال مكانًا مناسبًا للبحث الكيميائي في نواة الخلية، ففي هذا الوقت كان سمك السالمون الأطلنطي يعوم في نهر الراين حتى الشلالات الواقعة شمال مدينة بال و في الوقت الذي يصل فيه السالمون إلى بال تكون خصيتاه مليئتين بالحيوانات المنوية استعدادًا للتلقيح. و كان ميشير يؤلف فريقًا لجمع الحيوانات المنوية لسمك السالمون كل ربيع. و يعتبر الحيوان المنوي لسمك السالمون من أنسب الخلايا لدراسة النوايا كيميائيًا، و ذلك لأنها غنية بمادة **DNA** التي تكون ٥٠% من وزن الخلايا الجاف.

و سرعان ما أحرز ميشير تقدمًا كبيرًا ووجد انه يمكن إزالة السيتوبلازم من خلايا الحيوانات المنوية، و ذلك بغمسها في حامض مخفف، و بذا يحصل على نوايا كاملة و نظيفة، كما وجد ان استخلاص مادة **DNA** نقية، و خالية من البروتين من النوايا، أمر سهل. وقدر ميشير محتويات مادة **DNA** من تنروجين وفوسفور وكر بون وأكسجين وأيدروجين. وأصبح واضحًا أن مادة النيوكلبن هي حامض، واقترح أحد الباحثين

تسمية المادة الخالية من البروتين حامض نيوكليك.

وكان ميشير باحثًا موفقًا لا يقتنع بسهولة بما يتوصل إليه، وعندما توفى في منتصف العمر وجد الكثير من نتائج أبحاثه غير منشورة معروفة في مذكراته. وفي عام ١٨٩٧ جمع أصدقاؤه هذه المذكرات مع أبحاثه المنشوره في مجلد واحد، ما زال الباحثون في هذا الموضوع يجدونه إلى يومنا هذا جديرًا بالإطلاع عليه.

ومن بين الباحثين الآخرين الذين قاموا بأبحاث هامة على نواة الخلية في وقت ميشير، اثنان من مشاهير علماء الكيمياء الحيوية هما البرخت كويل في هايد لبرج، ب. أ. ليفين بمعهد روكفلر، وعلى النقيض من ميشير الذي عمل بمفرده عمل كل منهما في معامل كبيرة بمعاونة باحثين آخرين.

وقد كرس هؤلاء الباحثون وهم متخصصون في الكيمياء العضوية وقتهم لاماطة اللثام عن سر التركيب الكيميائي لجزئ حامض النيو كليك وجزئ حامض النيوكليك جزئ كبير مركب من ستة جزئيات مختلفة متوسطة الحجم متصل بعضها ببعض. وكانت المشكلة الأولى هي فصل جزئ حامض النيوكليك الكبير، والتعرف على الجزئيات المكونة له، وكان لابد من إجراء ذلك برفق خشية تحلل الجزئيات الصغيرة وهي أيضًا معقدة التركيب وكانت أسلم طريقة هي معاملتها بالأنزيمات (وهي نفس الأداة التي يستخدمها الكائن الحي) ومن الممكن استخدام طرق أكثر عنفا في بعض الأحوال مثل المعاملة بحامض قوى ساخن.

وعندما فصلت الجزئيات الصغيرة فحص كل على حدة للتأكد من احتوائها على جميع العناصر الموجودة في الجزئ الكبير.. كما وجد أن كل النتروجين الموجود في الجزئ الكبير، موزع على مجموعة من الجزئيات النتروجينية الصغيرة من النوع المماثل لحامض البوليك والكافين، ووجد من هذه الجزئيات الصغيرة النتروجينية أربعة مختلف بعضها عن بعض تمامًا، ولكنها تنتمى لنفس الفصيلة من المواد، كما أن الفوسفور الموجود في جزئ DNA موجود على هيئة حامض فوسفوريك، وهذا يفسر اعتبار مادة (د ن أ)

حامضًا. ومن تين الجزئيات الأخرى الصغيرة في جزئ DNA جزئ أحد السكريات الخماسية الكربون ويتركب جزئ DNA من هذه الجزيئات الثلاثة الصغيرة على النحو التالي: ترتبط جزيئات السكر الخامسي الكربون بعضها ببعض في سلاسل بوساطة روابط من حامض الفوسفوريك ويتصل بكل جزئ سكر في السلسلة واحد، أو آخر من الأربعة الجزيئات النتروجينية الصغيرة هذا وقد اكتشف حديثًا جزئ خامس يحتوي على النتروجين، وتختلف كميته اختلافًا كبيرًا في الأنواع المختلفة من مادة DNA

وجزئ حامض DNA الكامل جزئ كبير ومعقد التركيب، وربما احتوى على ٣٠٠٠ جزئ من السكر الخماسي الكربون. ويعتبر حامض DNA أحد الأمثلة لما يسمى في الوقت الحاضر بلمرا كبيرًا. ومن الأمثلة المألوفة للبلمرات الكبيرة النايلون، وغيره من المواد التي تصنع منها المنسوجات. من خصائص البلمرات الكبيرة وجود وحدات كيمائية متصلة بنظام متكرر لتكون مركبًا معقدًا. وفي حالة النايلون تكون الوحدة بسيطة نسبيًا، فهناك نوع واحد من الجزئيات الصغيرة.

أما في مادة DNA فالوحدات أكثر تعقيدًا، ومعرفة الطريقة، التي تتبلور بها هذه الوحدات لتكون جزيئًا هائلاً، مهمة عسيرة لم يوفق العلم إلى حلها للآن. وعندما يتيسر معرفة هذا الغموض ستتاح لنا الفرصة لفهم الدور الذي تلعبه مادة DNA في الكروموسوم.

ويتوقف نجاح تفاعل فولجن، لجعل الكروموسومات مرئية، على كون جزئ DNA بلمر وعندما يعالج الجزئ بطريقة فولجن يظل جزئ DNA المتبلمر غير ذائب، وبذا يصبغ وهو في مكانه في الخلية. وعندما يتحلل جزئ DNA ويعالج بنفس التفاعل فإنه يذوب في المحلول.

وتتوقف صلاحية مادة DNA لنقل العوامل الوراثية على كونها متبلمرة. وللتأكد من ذلك نعود للتجارب التي أجريت على النيموكوكوس، فعندما تتفكك مادة DNA، في خلايا النيموكوكوس المغلف، بالتسخين، تفقد قدرتها على نقل الصفات الوراثية.

وبالإضافة إلى حامض DNA تحتوي الخلايا على نوع آخر من حامض النيوكليك، يعرف بحامض الرايبونيوكليك RNA و كما هو الحال في حامض DNA يتكون جزئ حامض RNA من حامض فوسفوريك و جزيئات صغيرة محتوية عى النيتروجين و سكر خماسي الكربون؛ غير أن السكر الموجود في RNA (ويعرف بالرايبوز) مختلف تمامًا عن السكر الموجود في حامض DNA والمعروف بالديزوكس رايبوز، ويحتوي الرايبوز على ذرة أكسجين إضافية تؤثر تأثيرًا كبيرًا في صفات الجزئ. ولما كان جزئ السكر يكون ٤٨% من جزئ حامض النيوكليك، ويحتل السكر مركز الجزئ فإنه يحتمل أن يكون الاختلاف في تركيب السكر مسئول عن الفوارق الكثيرة، في تأثير كل من حامض RNA وحامض DNA

ويحتل حامض RNA مكانًا مختلفًا في الخلية، ويبدو أن له وظائف بيولوجية مختلفة تمامًا عن وظائف حامض DNA فهو موجود غالبًا في السيتوبلازم، ويبدو أن له علاقة بتخليق البروتين، ولا يخفى أن تخليق البروتين، هو بلاشك، من أكثر المسائل أهمية في البيولوجيا إذ يكون البروتين جزءًا كبيرًا من المادة الحية، وهو على صورة أنزيمات، يهيمن تقريبًا على كل العمليات الديناميكية في الخلية. ولما كانت الأنزيمات معقدة التركيب للغاية، فقد تحدت الآن كل الجهود التي بذلها الكيميائيون لاماطة اللثام عن سر تكوينها. ولهذا كان لحامض RNA أهمية خاصة عند البيولوجيين والكيميائيين على السواء.

وقد اكتشف حامض RNA في الخميرة بعد أن اكتشف ميشير حامض DNA مباشرة، ولما كان حامض DNA يحضر عادة من خلايا الحيوان (الحيوان المنوي للأسماك، والغدة التيموسية للعجول) بينما يحضر حامض RNA من خلايا النبات عادة (الخميرة) لذا عرف حامض DNA لعدة سنوات بحامض DNA الحيواني وحامض RNA بحامض RNA النباتي.

هذا وقد خطا فولجن الخطوة الأولى نحو تصحيح هذا الوضع، عندما استخدم تفاعله المعروف، ووجد أن النوايات النباتية والحيوانية على السواء تحتوي على حامض

DNA كما أنه صبغ خلايا بطرق أخرى ليحاول الكشف عن حامض RNA وتوصل إلى أن حامض ARN يحتمل وجوده في كل من الخلايا النباتية والحيوانية ولكن في السيتوبلازم.

ولحسم مشكلة توزيع حامض DNA، RNA في الخلية بصورة قاطعة عزل مارتن بيهزيز (تلميذ فولجن) النوايات والسيتوبلازم واستخدم في هذه التجارب خلايا جنين نبات حب الجودار. ولكي يتحاشي فقد أو نقل أي من المواد من النواة أو السيتوبلازم في أثناء عملية الفصل، قرر أن تتم عملية عزل النوايات والسيتوبلازم، ثم طحن المادة في سائل غير مائي كي يفتت الخلايا، ويعزل النوايات عن السيتوبلازم التي كانت مطمورة فيه. والمعروف أن جدار الخلية يفتت بدرجة أسرع من جدار النواة، ولذا كان في الإمكان تفتيت معظم الخلايا دون أحداث تلف يذكر بالنواة.

وعمد بيهزيز بعد ذلك إلى تعليق المادة المفتتة في مجموعة من السوائل ذات كثافات متباينة، وأمكنه عزل بقايا الخلايا الخفيفة عن طريق تعويمها، ثم عزل النوايات من البقايا الثقيلة. وكم كان هذا العمل شاقًا، إلا أن بيهزيز تذرع بالصبر. وتلا ذلك تبخير السوائل والحصول على نوايات نقية خالية من السيتوبلازم، وسيتوبلازم خال من النوايات.

وقد عرف أولئك الذين أعادوا هذه التجارب، كم كان سرور بيهزمز عظيمًا عندما عبأ المساحيث المحتوية على النوايات وحدها، والمحتوية على السيتوبلازم وحدها، في زجاجات منفصلة– أن ذلك هو حلم كل كيمائي يبحث في هذا الموضوع.

وعمل فولجن وبيهزنز على استخلاص أحماض النيوكليك من هذه المساحيق للتعرف عليها وفحصها كيميائيًا، ووجدا حامض DNA في النوايات، وحامض RNA في السيتوبلازم.

ولتحديد وجود أحماض النيوكليك في الخلية بصورة أدق، استدعى الأمر فحصًا مجهريًا دقيقًا، سرعان ما قام به براشت في بروكسل، وثوريجورن كابرسون في ستوكهلم.

وقد حددا أحماض النيوكليك كما فعل فوجلن عن طريق صفاتها الكيميائية التي يمكن تمييزها في كميات ضئيلة تحت المجهر، وكانت طريقة براشت تعتمد على وجود حامض الفوسفوريك في أحماض النيوكليك. وتعتمد طريقة كابرسون على وجود الجزئيات النتروجينية الصغيرة. وبعد فحص عدد كبير من الخلايا المتنوعة وجد بعض حامض **RNA** في النواة خاصة، في جسم ضئيل يعرف بالنوية متصل بكروموسوم خاص، وأن الكروموسومات نفسها تحتوى على بعض حامض **RNA** وتختلف كمية حامض **RNA** الموجودة في النوية، والسيتوبلازم اختلافًا كبيرًا من خلية لأخرى. فالخلايا النشطة فسيولوجيا بوجه خاص مثل تلك الموجودة في الغدد، وتلك السريعة النمو تحتوى على كمية كبيرة من حامض **RNA** في النوية والسيتوبلازم. كما أنه من بين الخلايا الكبيرة التي تبطن المعدة تحتوى الخلايا التي تكون الببسين (وهو بروتين) على كمية كبيرة من حامض **DNA** بينما تحتوى الخلايا التي تكون حامض الكلوردريك على كمية ضئيلة.

ويشير كل ذلك بلاشك إلى أنه بطريقة ما يلعب حامض **RNA** دورًا في تكوين البروتين، ويبدو هذا صحيحًا بوجه خاص بالنسبة لحامض **RNA** في النواة. وقد شاهد هوجلر هايدن السويدي، تحت عدسة المجهر، دليلاً على خروج حامض **RNA** من النواة إلى السيتو بلازم في الخلية الحية. وربما اعتبرت هذه الظاهرة إحدى الطرق التي تؤثر بها النواة على السيتوبلازم المحيط بها. وقدمت التجربة التي أجراها ر. جينز في بروكسل الدليل القاطع على أن حامض **RNA** في النواة ذو نشاط خاص. وتتلخص تجربته في تعويض الخلايا الفوسفات ذات فوسفور مرقوم، فوجد كمية الفوسفور التي تدخل في تركيب حامض **RNA** في النواة أكبر منها في حامض **RNA** الموجود في السيتوبلازم.

ويعتبر الاختلاف الكبير في كمية حامض **RNA** الموجود في خلايا الجسم المختلفة على النقيض مما هو مألوف من ثبوت كمية حامض **DNA** في النوايات فمثلاً خلايا بنكرياس الدجاج بها عدة أمثال كمية حامض **RNA** الموجودة في خلايا الكلية، بينما تحتوي نوايات النوعين المختلفين من الخلايا على نفس الكمية من حامض **DNA**

ولا توجد أحماض النيوكليك منفصلة في الخلية، بل متحدة مع البروتينات، وما نعرفه

عن اتحاد البرتين مع حامض RNA ضئيل.

وكان ميشير قد بحث البروتينات المتصلة بحامض DNA كما بحثها علماء آخرون من بعده، ووجد ميشير في نواة الحيوان المنوي لسمك السالمون بروتينا غير مألوف، متصلاً بحامض الفوسفوريك الموجود في جزئ DNA– وهذا البروتين أكثر قاعدية وأبسط تركيبا من غيره من البروتينات المعروفة كما كان ينقصه الكثير من الأحماض الأمينية الموجودة في معظم جزيئات البروتينات.

واسم هذا البروتين مألوف لمرضى السكر فهو البروتامين الذي يضاف حاليًا للأنسولين فيعمل على مكث هذا الهرمون في الدم فترة أطول. ومن منا كان يتوقع للبروتين الغريب الذي اكتشفه ميشير في الحيوان المنوي للسالمون أن يتحد مع هرمون البنكرياس، ويستخدم في علاج مرض السكر.

ودرس كوسل بروتامينات الحيوان المنوي للأسماك دراسة مستفيضة وكان لأبحاثه التي أجراها على هذه البروتينات البسيطة تأثير كبير في فحصنا للبروتينات عامة. ووجد كوسل بروتينات قاعدية أخرى في نوايات كرات الدم الحمراء والغدد التيموسية للعجول، كما وجدها كاتب هذا المقال بعد ذلك في نوايات خلايا الكبد والكلي والبنكرياس وغيرها من الخلايا. ويحتمل أن تكون موجودة في جميع نوايات الخلايا، ومعظم هذه البروتينات أقل قاعدية وأكبر وأكثر تعقيدًا، من تلك الموجودة في الحيوان المنوي. وفي أثناء تكوين الخلايا المنوية في الخصية والموجودة في الخلايا التي تكون منها الحيوان المنوي. ووظيفة تحل البروتامينات البسيطة محل البروتامينات القاعدية الأكثر تعقيدًا، الخلية المنوية هي الوصول إلى البويضة ونقل الصفات الوراثية، ولذا تختصر المواد غير الضرورية لهاتين الوظيفتين إلى أقل قدر ممكن. والواقع أن نواة الحيوان المنوي لا تتكون من أكثر من حامض DNA والبروتين القاعدي المتصل به، وحتى هذا البروتين يختصر إلى ما هو ضروري ولازم فقط. ونجد أنه في الحيوان المنوي الكامل النضج يتبقى منه الجزء القاعدي، الذي يتحد مع حامض الفوسفوريك الموجود في حامض DNA

ويتطلب الترتيب الطولي لعوامل الوراثة في الكروموسومات أن يكون حامض DNA الذي هو عامل رئيسي من هذه العوامل، متصلا بالكروموسومات بطريقة ثابتة ومحددة وقد سبق أن أوضحنا أنه متصل ببروتين يكون جزءًا من تركيب الكروموسوم. هذا ويمكن استخلاص جميع البروتين القاعدي من كمية من الكروموسومات المعزولة في أنبوب اختبار، وذلك بمعالجتها بمحلول ملح مركز مضاف إليه بعض الحامض المخفف. وحتى بعد فصل البروتين القاعدي فإن الكروموسومات تبدو كما هي تحت المجهر، كما أنها تحتفظ بحامض DNA بعد غمسها في محلول متعادل. ويبن هذا بوضوح أن حامض DNA ما زال متصلا شئ ما في الكروموسوم، وذلك لأن DNA سريع الذوبان في مثل هذا الوسط، ولو لم يكن حامض DNA متصلا لا نفصل بعيدًا عن الكروموسومات.

وقد أمكن إثبات أن المادة المتصل بها حامض DNA بروتين، وذلك بمعالجة الكروموسومات بأنزيم التربسين المتبلور النقى، وبذا ينفصل حامض DNA المتبلمر مكونًا شيئًا سميكًا (**gel**) ومن ناحية أخرى إذا تفتت حامض DNA الموجود في الكروموسومات بفعل أنزيم خاص، يؤثر على أحماض النيوكليك، تخلف بروتين يمكن رؤيته على هيئة كتلة من الخيوط الملتوية لا تشبه الكروموسوم في الشكل. إن اتحاد هذا البروتين مع حامض DNA (المتصل به البروتين القاعدي أيضًا) هو الذي يكون شكل الكروموسوم المألوف تحت المجهر. فإذا ما تحلل جزئ DNA أو البروتين فإن تركيب الكروموسوم ينهار. وكمية البروتين الداخل في تركيب الكروموسوم غير ثابتة (على عكس بروتين حامض DNA) وتتوقف على أوجه نشاط الخلية. فالخلايا التي تقوم بعملية التمثيل ذات السيتوبلازم الوفير مثل خلايا الكبد والكلي، توجد في كروموسوماتها كمية كبيرة نسبيًا من البزوتين. ومن ناحية أخرى فإن خلية الليمفوسايت (نوع من أنواع الكرات البيضاء) المحتوية على طبقة رقيقة من السيتوبلازم حول نواتها، بها ١/٥ هذه الكمية تقريبًا، بينما تحتوي كرات الدم الخاملة على أقل من عشر كمية البروتين.

ويوحي الرأي القائل بأن كمية البروتين التركيبي في الكروموسوم متعلقة بدرجة نشاط الخلية التمثيلي، بأنه ربما كان هذا البروتين نفسه له نشاط تمثيلي. وفعلاً جاءت

نتائج التجارب مؤيدة لهذا الرأي، وقد قدر نشاط البروتين التمثيلي باستخدام نتروجين مشع على هيئة الحامض الأميني جلايسين يسهل حقنه في الفئران، ويقتفي أثر الذرات المشعة في خلايا هذه الحيوانات، وقد وجد اينارها ماراستن في أستوكهلم، أن بروتين النواة امتص النتروجين المشع بدرجة أسرع من حامض **DNA**. كما أثبت كاتب هذا المقال بالاستمرار في هذه التجارب أن البروتين التركيبي امتص النتروجين بدرجة أسرع من البروتين القاعدي.

ولما كانت كمية البروتين التركيبي النشط في التمثيل تختلف اختلافًا كبيرًا في نوايا خلايا الجسم، فإن كروموسومات الخلايا المختلفة يختلف نشاطها تبعًا لذلك. كما ثبت ذلك أيضًا باستخدام النتروجين المشع الموجود في الجلايسين. فخلايا كبد الفأر وخلايا الكي مثلا بها نفس كمية حامض **DNA**، غير أن حامض **DNA** الموجود في كروموسومات خلايا الكبد يمتص النتروجين المشع بسرعة تعادل ثلاثة أضعاف مثيلتها في خلايا الكلي. وحتى نفس كروموسوم الخلية الواحدة يتغير نشاطه تبعًا للظروف الفسيولوجية المختلفة. فخلايا غدة هضمية كالبنكرياس مثلاً تصبح أكثر نشاطًا عندما يتناول الحيوان طعامًا، وعندما يكثر نشاط الخلايا، يمتص حامض **DNA** الموجود في كروموسوماتها كمية من النتروجين المشع أكبر بمقدار ٥٠% من المعتاد. وتتوقف درجة نشاط الكروموسوم على الظروف المحيطة به.

وتتكون البيئة المحيطة بالكروموسومات من نواة الخلية، ولمعرفة طريقة عمل الكروموسومات تجب معرفة الظروف في النواة نفسها.

ويكون تأثير نشاط الكروموسومات واضحًا على السيتوبلازم.

وسيتوبلازم كل نوع من الخلايا جهز بطريقة تساعده على القيام بوظائفه الخاصة، فسيتوبلازم خلايا العضلات يحتوى على البروتين المنقبض المعروف بالمايوسين، أما سيتوبلازم خلايا كرات الدم الحمراء فإنه يحتوي على الهيموجلوبين، وهو الصبغة التي تحمل الأكسجين، وسيتوبلازم خلايا البنكرياس به أنزيم الهضم المعروف بالتربسين

وهكذا.. وعلى ذلك فإنه في كل نوع من الخلايا تؤثر الكروموسومات على سيتوبلازم متخصص. ولكي يعمل هذا النظام بدقة وانسجام يجب أن تكون الأجزاء الملحقة متناسقة بعضها مع بعض؛ فهناك حاجة إلى تبادل بين السيتوبلازم والكروموسومات حتى يمكن تكييف نشاط الأخيرة، حسب حاجة السيتوبلازم الخاصة. والمكان الذي يجب أن يبحث فيه عن الدليل على وجود مثل هذا النظام هو ترطيب النواة.

هل يغير تخصص السيتوبلازم تركيب النواة؟ هناك أكثر من دليل على حدوث هذا بالفعل. فالأنزيمات الموجودة في نوايات الخلايا المختلفة مختلفة كما هي الحال في أنزيمات السيتوبلازم. وإذا احتوى سيتوبلازم خلية معينة على أنزيم خاص فإن نفس الأنزيم يوجد أحيانًا في نواة الخلية أيضًا. فمثلاً هناك أنزيم الأرجيناز، الذي يساعد خلايا الكبد على تكوين البولينا، موجود في كل من سيتوبلازم ونواة هذه الخلايا، ولما كان التغير في بيئة الخلية ربما يحدث تغييرات في السيتوبلازم فإنه ربما أدى إلى تغيير تركيب النواة أيضًا، وقد وجد هذا بالفعل.

وبذا تكون العلاقة بين النواة والسيتوبلازم علاقة مزدوجة، فالعوامل الوراثية في الكروموسومات تحمن الخلية بأسرها، وتغير الخلية بالتالي من ظروف النواة، وبذا تغير من نشاط كروموسوماتها. ومعلوماتنا عن هذا التأثير العكسي، وعن كيمياء التبادل بين النواة والسيتوبلازم، معلومات ضعيفة. ولا يخفى أن مثل هذه المشكلة أساسية لفهم الخلية.

تركيب المادة الوراثية

ف.هـ.س. كريك

إن من يشاهد عملية المايتوزيز تحت المجهر، وهى العملية التى تنقسم بها الخلية وتصبح خليتين، يجدها من أروع المشاهدات فى عالم الأحياء كله. ومن يستعرض هذه العملية وهى تمر أمام ناظريه فى شريط سينمائى متلاحق يؤخذ بروعتها، بوصفها استعراضًا رائعًا لمظاهر القوى الديناميكية التي حبت بها الطبيعة المادة الحية، اذ نجد أنفسنا أمام مجموعتين متماثلتين من الكروموسومات بدلاً من واحدة. و المعضلة الكبرى في علم الأحياء، هي كيف تزدوج هذه الاجسام الحيوية. و من سوء الطالع أن عملية الازدواج هذه، تتعدى مقدرة المجهر، ولو أنه أمكن معرفة الكثير عنها بطرق اخرى.

وكان من ضمن هذه الطرق دراسة طبيعة و سلوك الخلايا الحية بأكملها و دراسة المواد المستخلصة منها. و بقتصر هذا الفصل عى دراسة المواد المستخلصة من الخلايا دون التعرض لسلوكها، و بحث الأمرين معا هو الكفيل بحل هذه المعضلة. وبالفعل أمكن التوصل لنتائج مثيرة للغاية، باستخدام طريقة تجمع بين الاثنين.

وتتركب الكروموسومات أساسًا من ثلاثة أنواع من المواد الكيميائية هي البروتين وحامض الديزوكسى نيوكليك **DNA** وحامض الرايبونيوكليك **RNA**

(ولما كانت مادة **RNA** موجودة بكميات ضئيلة جدًا فسوف نغفل ذكرها في هذا الفصل). وتشترك أحماض النيوكليك مع البروتينات في عدة صفات مستركة، منها أنها جزيئات هائلة، لكل منها تركيب عام مكون من هيكل أساسي، تصل به مجموعات جانبية، وبينما تحتوي البروتينات على ما يقرب من عشرين نوعًا من المجموعات الجانبية، تحتوي أحماض النيوكليك عادة على أربع فقط (من نوع مختلف). ويعتبر غريبًا، قلة عدد

هذه المجموعات، إذ ليس هناك من تعليل كيميائي واضح لعدم وجود أنواع أخرى كثيرة من المجموعات الجانبية. ومن الظواهر الهامة الأخرى، أنه ما من بروتين، أو حامض نيوكليكي يبدو في أكثر من صورة ضوئية واحدة، إذ ليس لها مطابق ضوئي، أو جزئ آخر يمثل صورته في المرآة. ويستدل من ذلك على أن شكل الجزيئات لا بد أن يكون عاملاً هامًا.

ويسود هذا التعميم (مع بعض الاستثناء) جميع رتب الكائنات الحية ابتداء من الفيروسات والبكتريا إلى الحيوانات والنباتات. والاعتقاد راسخ بأننا أمام ناحية رئيسية للمادة الحية، أبسط بكثير مما كنا نتوقع؛ ويدفعنا ذلك إلى البحث عن تفسير بسيط لتكوين هذه الجزيئات الهائلة.

والمعروف أن دور البروتينات الهام هو دور الأنزيمات التي هي أداة الخلية الحية، وللأنزيم فعل خاص، وكثيرًا ما يكون على درجة كبيرة من التخصص بالنسبة للفاعل الذي ينشطه. هذا بالإضافة إلى أن الدراسات الكيميائية والأشعة السينية، أوضحت أن تركيب الأنزيم ثابت ومحدود. هذا ويحتمل أن تكون المجموعات الجانبية لأنزيم ما، مرتبة بنظام ثابت على طول الهيكل العديد الببتيد. وإذا قدر لنا أن نعرف كيف تتمكن الخلية من تكوين الأنزيمات المناسبة، وبخاصة كيف تعمل الخلية على تجميع المجموعات الجانبية لكل أنزيم بنظام خاص، فإننا نكون قد قطعنا شوطًا بعيدًا في تفسير أبسط أنواع الحياة في ضوء الكيمياء والفيزياء.

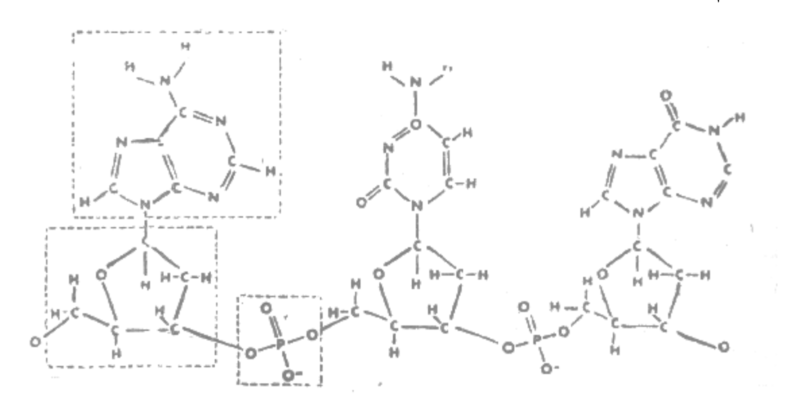
ويسود الاعتقاد بأن هذا النظام محكوم بالكروموسومات– كما أن هناك ما حملنا في السنوات الأخيرة على الشك بأن السر في تخصص الكروموسومات لا يرجع إلى البروتينات بل إلى مادة DNA– إذ موجودة في كل الكروموسومات، وفي الكروموسومات فقط دون غيرها (مع استثناء بسيط). كما أن كمية مادة DNA في مجموعة الكروموسوم كمية ثابتة في الفصيلة الواحدة. فالحيوان المنوي الذي يحتوي على نصف عدد الكروموسومات الموجودة في الخلايا العادية به نصف كمية مادة DNA في بعض خلايا الكبد الرباعية، ويوجد في الكروموسومات ضعف كمية مادة DNA. وهذا

الثبات الملاحظ في كمية هذه المادة هو ما تتوقعه إذا كانت هذه المادة تحدد التكوين الوراثي حقيقة.

ثم هناك في حالتين الدليل الذي يوحى بأن مادة **DNA** وحدها خالية من البروتين، قادرة على حمل صفات الجينات الوراثية. الحالة الأولى: هي اكتشاف أن الصفات المنقولة للبكتريا القادرة على أحداث تغير وراثي، عند إضافتها للخلية تتكون من مادة **DNA** وحدها. والحالة الثانية: هي أنه في أثناء مهاجمة الباكترويوفاج للبكتريا تدخل مادة **DNA** الموجودة في الباكتريوفاج خلية البكتريا، بينما يبقى معظم البروتين وربما كله خارجها.

ويمكن استخلاص مادة **DNA** من الخلايا بطرق كيميائية معتدلة. وقد أجريت تجارب عملية كثيرة لاكتشاف طبيع هذه المادة الكيميائية، وكلت هذه التجارب بنجاح تام وأمكن التوصل إلى أن جزئ مادة **DNA** مكون من سلسلة طويلة جدًا، تحوى مجموعات متناوبة من السكر والفوسفات (كما في الشكل). والسكر واحد في كل الجزيئات، وهو سكر الديزوكس رايبوز ويتصل بالفوسفات بنفس الطريقة دائمًا، وبهذا تكون السلسلة الطويلة منتظمة يتكرر فيها ترتيب "الفوسفات– سكر" باستمرار.

وبينما نجد سلسلة "الفوسفات سكر" منتظمة للغاية نجد أن الجزئ نفسه كوحدة غير منتظم، ذلك لأنه يتصل بكل سكر قاعدة،



جزء من سلسلة حامض الديزوكس رايبونيوكليك يبين الوحدات الثلاث الرئيسية التي تكون الجزئ. وبتكرارها عدة مرات على هيئة سلسلة طويلة، تجعل طولها يعادل ١٠٠٠مرة سمكها. ويتكون الهيكل من جزئيات سكر بنتوز (المربع الأسفل الصغير على الشمال) متصلة بمجموعات فوسفات (المربع الأسفل على اليمين) وتبرز القواعد (المربع العلوى) الادينين والسايتوسين والجوانين والثايمين (لا تظهر في الشكل) من السكر دون نظام.

وهذه القاعدة ليست واحدة دائمًا. وتوجد عادة أربعة أنواع من هذه القواعد– اثنتان منها بيورينات تسمى الأدنين والجوانين، واثنتان بيريميدينات تعرف بالثايمين والسايتوسين. وعلى قدر ما نعرف عن نظام هذه القواعد للآن فإن ترتيبها في السلسلة غير منتظم، ويحتمل أن يختلف من مادة DNA لأخرى. وهناك في الواقع أشتباه في أن يضفى ترتيب ونظام هذه القواعد صفة التخصص على مادة DNA ولما كان نظام هذه القواعد غير معروف فإن كل ما يمكننا قوله: هو أن التركيب العام لجزئ مادة DNA معروف. وبالرغم من ذلك فإن الوصول لهذا التركيب العام يعتبر نجاحًا باهرًا أحرزته الكيمياء الحيوية وهو أساس كل الآراء التي أبديت في هذا الفصل.

وكان الاعتقاد السائد في وقت من الأوقات أن هذه القواعد الأربع موجودة بكميات متساوية، إلا أنه في السنوات الأخيرة وجد أن هذا الرأي غير صحيح، خاصة بعد أن تمكن شار جاف ومساعدوه بجماعة كولومبيا، و أ. ى. ميرسكى وزملاؤه بمعهد روكفلر للبحوث الطبية و ج.ر. ويات بكندا، من تقدير كميات القواعد في عدة حالات، وأثبتوا أن نسبة هذه القواعد ثابتة في الفصيلة الواحدة، بغض النظر عن أفراد الفصيلة أو العضو الذي استخلصت منه مادة DNA– كما أن نسبة هذه القواعد تختلف باختلاف الفصائل، وأن الفصائل القريب بعضها من بعض لا تختلف كثيرًا.

ورغم أننا نعرف عن التركيب الكيميائي لمادة DNA أنه سلسلة، إلا أن هذا في حد ذاته لا يعطى فكرة عن شكل الجزئ، إذ أنه لما كان للسلسلة روابط فردية يمكن للسلسلة أن تدور حولها فإنه يمكنها أن تنثنى وتأخذ أشكالاً مختلفة. ومع ذلك فقد

ظهر، من القياسات الكيميائية الفيزيائية، وصور المجهر الالكتروني، إن الجزئ غالبًا ما يكون رفيعًا ومستقيمًا لدرجة كبيرة، وكأنه قطعة من الحبل المتين.

ويبلغ سمكه ٢٠ وحدة أنجوستروم (وحدة الأنجوستروم $\frac{1}{\text{100 مليون}}$ من السنتيمتر) وهو سمك قليل لا يتعدى سمك (دستة) من الذرات ويتوقف طول الجزئ لحد ما على طريقة تحضيره، وربما يصل طوله إلى ٣٠ ألف وحدة أنجوستروم، أو أن طوله يعادل سمكه ١٠٠٠ مرة، وربما كان طوله داخل الخلية أكثر من ذلك بكثير، إذ أن هناك احتمالاً كبيرًا لكسر الجزئ في أثناء استخلاصه.

وفي واقع الحال ما من طريقة من هذه الطرق تعطينا فكرة صحيحة عن تفاصيل الترتيب الفراغي للذرات داخل الجزئ، ولهذا السبب نجد من الضروري استخدام طريقة انشطار الأشعة السينية. والمعروف أن متوسط المسافة بين الذرات ذات الروابط في جزئ عضوى تقرب من وحدة ونصف وحدة انجوستروم، وبين الذرات عديمة الروابط من ٣–٤ وحدات، كما أن للأشعة السينية موجات قصيرة (طولها وحدة ونصف وحدة أنجوستروم) تمكنها من النفاذ في الذرات وتصديرها. إلا أن صورة انشطار الأشعة السينية ليست صورة بالمعنى المألوف لسوء الحظ، كما أنه لا يمكننا تركيز الأشعة السينية كما نفعل في الضوء العادي، ولذا نحصل على الصورة بطرق غير مباشرة– هذا بالإضافة إلى أن هذه الصور لا تظهر بوضوح إلا الجزء الدوري أو المتكرر بانتظام من تركيب المادة.

غير أنه أمكن لبعض الباحثين الإنجليز الحصول على صور انشطار الأشعة السينية بجزيئات مادة DNA المسحوبة على هيئة ألياف طويلة، والمتسخلصة من الخلايا، وظهرت من الدراسات الأولية، وقبل معرفة التفاصيل الكاملة، مفاجئتنان: الأولى أنهم اكتشفوا أن جزئ مادة DNA يمكن أن يتشكل في صورتين، ففي الرطوبة القليلة نسبيًا وعندما يكون الماء ٤٠% تقريبًا من الألياف تعطى جزئيات DNA نموذجًا متبلورا تكون فيه الجزئيت مرصوصة بنظام تام في الأبعاد الثلاثة، وعندما تزداد الرطوبة وتمتص

الألياف ماء أكثر يزداد طولها بما يقرب من ٣٠٪ ويصبح النموذج بارابللورى تكون فيه الجزيئات مكدسة بجوار بعضها البعض بصورة غير منتظمة، كما لو كانت قد انزلقت بعضها فوق بعض. والمفاجأة الثانية أن الأشعة السينية لمادة DNA المستخلصة من فصائل مختلفة تكون على نمط واحد، رغم اختلاف كمية القواعد الأربع الموجودة فيها، ويبدو ذلك غريبًا لوجود الصورة المتبلورة السابق ذكرها، إذ كيف يبدو تركيب الجزئ منتظما بهذه الدرجة بينما تختلف القواعد؟ ويبدو أن النظام العام للجزئ لا يعتمد على ترتيب القواعد، وبذلك ساد الاعتقاد بأنه ليس لهذه القواعد دور في ربط أجزاء الجزئ معًا، وسيتضح فيما يلي أن هذا الرأي لم يكن سديدًا.

وكانت صور الأشعة السينية قد أظهرت حقيقة أخرى محيرة، ألا وهي أن تكرار النمط البللورى جاء على مسافات أطول بكثير من تكرار الوحدات الكيميائية في الجزئ فالمسافة بين كل مجموعة فوسفات والتي تليها، لا يمكن أن تكون أكبر من سبع وحدات أنجوستروم، بينما جاء التكرار البللورى بعد مسافة ٢٨ وحدة في الصورة البللورية و٣٤ وحدة في الصورة البارابللورية، أو بمعنى آخر تكررت الوحدات الكيميائية عدة مرات قبل أن يتكرر الشكل البللورى مرة واحدة.

وكان ج.د. واتسون وكاتب هذا المقال يعملان في وحدة البحوث الطبية بمعمل كافنوس بكامبردج، وكانا مقتنعين بإمكان وصولهما إلى تركيب جزئ مادة DNA بالاستعانة بنماذج قيساية مبينة على صور الأشعة السينية، التي حصل عليها ويلكنس وروز التدفرانكلين ومساعدوهم في كلية الملك بلندن. وكان قد عرف الكثير عن المسافات بالضبط بين الذرات ذات الروابط في الجزئيات، وكذلك الزوايا بين الروابط وحجم الذرات، وما يعرف بمسافة فإن دير فال بين الذرات العديمة الروابط المتجاورة، ويسهل تجسيم كل هذه المعلومات الهامة في نماذج قياسية. ويبدو التركيب كأحد الألغاز المتداخلة المحتوية على قطع غريبة متصل بعضها ببعض بمفصلات دائرية (تمثل الروابط المفردة بين الذرات).

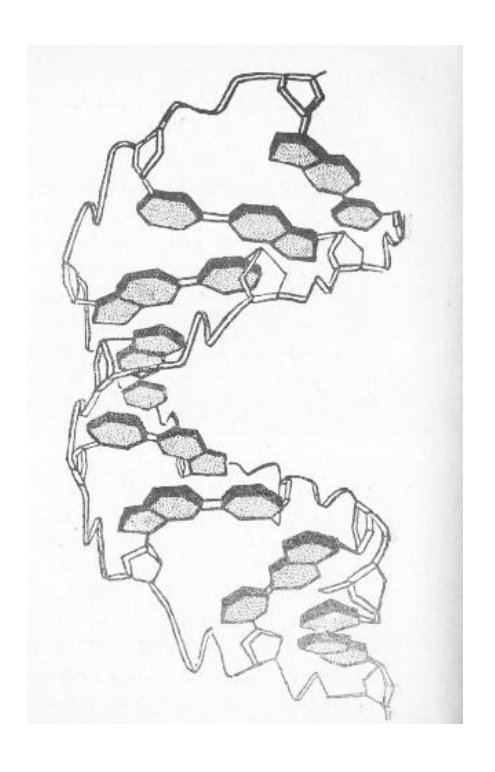
وكان على داتسون وكاتب هذا المقال أن يفترضا بعض الافتراضات، وكان أهمها

متعلقًا بالحقيقة السالف ذكرها، ألا وهي عدم مماشاة التكرار البللورى لتكرار الوحدات الكيميائية في السلسلة، بل يأتي على مسافات أطول، وكان التفسير المعقول لذلك هو أن كل الوصلات في السلسلة واحدة، غير أن الأشعة السينية تظهر كل عاشر وصلة مثلا من نفس الزاوية، وتظهر الأخرى من زوايا مختلفة، فأي نوع من السلاسل يكون له هذا النمط؟ والإجابة عن هذا السؤال سهلة، إذا افترضنا أن السلسلة ملتوية على هيئة حلزون (يسمى الحلزون لولبا للتسهيل، والفارق بينهما أن الحلزون لا يلتف حول قمع بل حول أسطوانة كالسلالم الحلزونية). وبهذا الافتراض تضاهى المسافة بين التكرار البللورى المسافة بين كل لفة من لفات الحلزون والتي تليها في السلسلة.

وقد قابلتهما بعض الصعاب في بادئ الأمر لتجاهلهما القواعد واهتمامها بالهيكل "فوسفات–سكر" فقط، غير أنهما تدراكا أهمية ادخال القواعد في حسابها فتوصلا بسرعة إلى تركيب اعتقدا صحة شكله العام.

ويحتوي هذا النموذج الغريب على زوج من سلاسل **DNA** ملتغة حول محور واحد، ومرتبطة بقواعدها– قاعدة من إحدى السلاسل تتصل بروابط ضعيفة بقاعدة أخرى في نفس المستوى في السلسة الأخرى، وتزدوج جميع القواعد بهذا النظام على طول تركيب المادة.

ويبين الشكل التالي سلسلتي "الفوسفات سكر" وزوج القواعد التي تربطهما معًا، ولكي يكون التركيب متناظرا على قدر الإمكان رسمت السلستان في اتجاهين مختلفين، أي أن ترتيب قواعد إحدى السلسلتين مضاد لترتيبها في السلسة الأخرى، بحيث يبدو الشكل واحدًا من أي طرف ينظر إليه.



(النموذج التركيبي يبين زوجا من سلاسل **DNA** ملتفه كحلزون مزدوج حول محور مركزي، وتبدو السكريات كأشكال خماسية الزوايا محصورة بين خطوط مزدوجة. وتمثل الانثناءات الموجودة في الخط المزدوج الذي يربط السكريات مجموعة الفوسفات، ويبرز من كل وحدة سكر قاعدة مرسومة بأشكال خماسية أو سداسية منتظمة. وتتصل كل قاعدة بدورها بقاعدة مقابلة في نفس المستوى برابطة نيتروجينية، ويمثل الاتصال بين القاعدة والأخرى دعائم أفقية بعرض محور الحلزون المزدوج وتربط السلاسل معًا).

ووجد أنه لا يمكن ترتيب القواعد حيثما اتفق، وأن هذه القواعد تدخل في التركيب بأزواج معينة، ويتحتم أن يكون في كل زوج منها قاعدة كبيرة (بيورين) وأخرى صغيرة (بيريميدين)– فزوج البيريميدين أصغر من أن يسد الفراغ الكائن بين السلسلتين، وزوج البورين أكبر من الفراغ الموجود.

وهنا افترض الباحثان افتراضًا آخر– فنظريًا يمكن أن تتشكل القواعد في عدة

صور ويتوقف ذلك على أماكن اتصال ذرات الأيدروجين. ولذا افترضنا أن لكل قاعدة صورة يكبر احتمال وجودها عن الصور الأخرى، ويمكن تصور ذرات الأيدروجين كعقد صغيرة متصلة بالقواعد، وتتوقف الطريقة التي تتصل بها القواعد بدرجة كبيرة على مكان وجود هذه العقد. وعلى ضوء هذا الافتراض تصبح الأزواج المناسبة في هذه الحالة هي: أدينين مع ثايمين، وجوانين مع سايتوسين.

وتتكون الأزواج بوصل القواعد بروابط أيدروجينية، وهي روابط ضعيفة للغاية، كما أن طاقتها الحرارية ليست أكثر من طبقات الذبذبات الحرارية في درجة حرارة الغرفة (الروابط الأيدروجينية هي القوى الرئيسية التي تربط جزيئات الماء المختلفة معًا، ويرجع سبب وجود الماء، على هيئة سائل في درجة الحرارة العادية، وليس على هيئة غاز.

ويزدوج دائمًا الأدينين مع الثايمين والجوانين مع السايتوسين. وقد استحال على الباحثين مطابقة القواعد بأي ترتيب آخر في نموذجهم (ويقول كاتب هذا المقال: أنه يحتمل أن يكون هذا الازدواج هامًا جدًا في البيولوجيا، حتى أنه يصعب افتراق هذه التوائم) ومع هذا فإن النموذج لا يفرض أية قيود على ترتيب الأزواج بطول الجزئ، فأي زوج من الممكن أن يلي زوجًا آخر، وذلك لأن أزواج القواعد منبسطة، ولما كانت مكدسة في هذا النموذج على هيئة ركم من قطع النقود، فإنه لا يهم أن يكون أي زوج فوق الآخر.

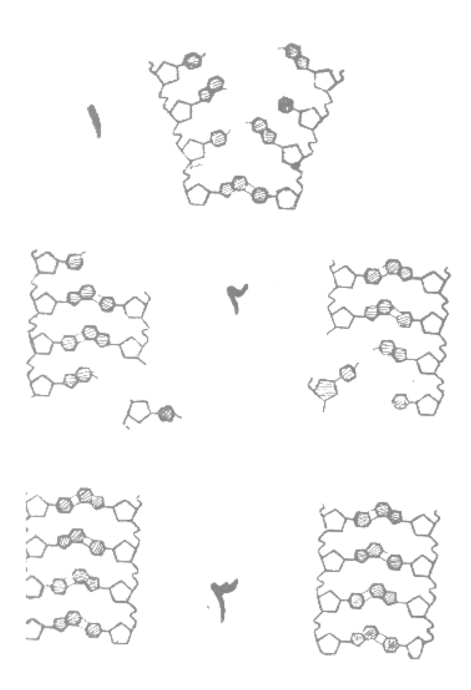
ومن الضروري أن ندرك أن الازدواج الخاص لهذه القواعد هو نتيجة مباشرة، لافتراض أن كلا من سلسلتي "الفوسفات سكر" حلزونيتان. ويتطلب هذا النظام أن تكون المسافة بين مجموعة سكر في إحدى السلاسل، إلى المجموعة الأخرى في السلسلة الثانية في نفس المستوى، مسافة ثابتة بصرف النظر عن مكان وجود إحدى المجموعتين، وينشأ عن ذلك أن يكون للقواعد المتصلة بالسكر دائمًا نفس كمية الفراغ الذي تشغله، وبهذا يكون انتظام سلاسل "الفوسفات– سكر" هو أساس الازدواج.

وحتى كتابة هذا المقال لم تكن صور الأشعة السينية التي حصل عليها ويلكنس ومساعدوه قد فسرت تفسيرًا تامًا، وإلى أن يتم ذلك لا يمكن الجزم بالتركيب النهائي لمادة **DNA**. ومع هذا فقد تأيدت بعض صفات النموذج بالأدلة العملية تأييدًا تامًا، وأصبح متوقعًا أن يتضمنها التركيب النهائي للمادة. فمثلاً توحى تقديرات الكثافة وكمية الماء الموجودة في ألياف **DNA** بأن هناك سلسلتين في الوحدات بوضوح تام نظامًا عامًا، يمكن اعتباره الامضاء المميز للتركيب الحلزوني، خاصة وأن شدة انحراف الأشعة تكون في عدة أماكن، أما صفرا وإما ضئيلة للغاية، وهذا ما تتوقعه من حلزون من هذا النوع. والصفة الأخرى التي نتوقعها هي أن شدة الأشعة السينية يجب أن تقترب من التناظر الأسطواني–والمعروف الآن أنها فعلاً كذلك وحديثًا توصل ويلكنس ومساعدوه إلى تحليل كامل لتفاصيل صور الأشعة السينية للنوع المتبلور، وأظهروا أنها مطابقة لتركيب من هذا النوع، رغم ميل القواعد بعيدًا عن محور الألياف في النوع المتبلور، بدلاً من أن تكون عمودية كما هي في النموذج السابق– وكان اتسون وكاتب هذا المقال قد بنيا تركيبها على النوع البارابللورى.

ويمكن تفسير كثير من الصفات الطبيعية والكيميائية لمادة **DNA** على ضوء هذا النموذج، فمثلاً تفسر صلابة التركيب السبب في اتخاذ مادة **DNA** شكلاً يشبه الألياف الطويلة في المحلول. كما تفسر الروابط الأيدروجينية في القواعد سبب تغير مادة **DNA** تبعًا لتغير الأس الأيدروجيني، وأغرب من هذا كله الحقيقة التالية وهي: أنه في جميع أنواع **DNA** التي فحصت (وقد فحص ما يربو على الأربعين نوعًا) تساوي كمية الأدينين كمية الثايمين تقريبًا، وكمية الجوانين كمية السايتوسين، بينما تتغير كثيرًا نسبة الأدينين للجوانين من فصيلة لأخرى. وهذه الظاهرة الغريبة التي سبق أن لاحظها شارجاف هي ما تتوقعه تمامًا من النموذج المقترح للمادة، والذي يتطلب أن يزدوج كل أدينين مع ثايمين، وكل جوانين مع سايتوسين.

ويحق لنا أن نتساءل إذا كانت الألياف المحضرة صناعيًا لمادة (**DNA**) المستخلصة، والتي بنى عليها النموذج السابق تمثل مادة (**DNA**) السليمة داخل

الخلية. ، ويصعب أن نتصور كيف تكون الصفات المميزة للنموذج ، هذا بالإضافة إلى أن ويكلنس برهن على أن المادة البيولوجية السليمة، مثل رأس الحيوان المنوى وابكتريوفاج، تعطى صورًا للأشعة السينية مماثلة تمامًا لتلك الخاصة بالألياف المستخلصة.



(الطريقة التي يتكاثر بها جزئ **DNA** ينفك وينفعل الحلزون المكون من سلسلتي (١) **DNA** وتعمل السلستان المكملتان داخل الخلية على وصل وحدات أولية تسبح حولها (٢) عندما تتصل القواعد المناسبة يتكون حلزونان جديدان حيث تبنى ٣)

ويتلخص الموقف الحالي في أنه يمكن التصريح باطمئنان بأن تركيب مادة **DNA** يتكون من سلسلتين حلزونيتين ملفوفتين حول محور واحد ومرتبطتين معًا بروابط أيدروجينية بين أزواج مميزة من القواعد.

والشئ المثير في نموذج مثل هذا، هو أنه يفسر قدرة مادة **DNA** على إنتاج صورة

طبق الأصل منها، إذ يتكون النموذج من جزأين يكمل كل منهما الآخر، وتستطيع كل سلسلة أن تصبح قالبًا تتخلق منه سلسلة مكملة، كأن تستقيم السلسلتان الملفوفتان مثلاً، ثم تنفصلان وتبدأ كل منهما في بناء جزء مكمل لها، وعندما تتم العملية يكون هناك زوجان من السلاسل بدلاً من زوج واحد. هذا بالإضافة إلى أنه لما كانت القواعد تتزاوج باختيار، فإن نظام ازدواجها يتكرر كما في الأصل تمامًا، أو بمعنى آخر أن القالب لا يعمل على تجميع القطع الإنشائية فحسب، بل ويرتبها الترتيب الصحيح.

ولنتصور أن هناك سلسلة حلزونية واحدة من **DNA** تسبح حولها داخل الخلية مواد أولية الأربعة الأنواع من الموارد الإنشائية اللازمة لتكوين سلسلة جديدة، ولا نعرف لسوء الحظ تركيب هذه الوحدات الإنشائية، فربما كانت (وهذا احتمال ضعيف) نيو كليوتيدات مكونة من مجموعة فوسفات واحدة، وسكر واحد، وقاعدة واحدة.

وعلى أي حال فمن وقت لآخر تعمد إحدى هذه الوحدات الطليقة إلى وصل قاعدتها بإحدى القواعد الموجودة في سلسلة **DNA** المفردة ثم تتصل وحدة أخرى طليقة بقاعدة أخرى في السلسلة المجاورة. فإذا حدث ولم تكن إحدى أو كلتا الوحدتين الحديثتي الاتصال هي القرين المناسب استحال الاتصال، وذلك لأن المسافة بينهما ليست مناسبة.

فتبتعد إحداهما أو كلتاهما بعيدًا لتحل محلها وحدات أخرى- أما إذا حدث وكانتا القرين المناسب فأنهما تتصلان وتبدأن في تكوين سلسلة جديدة. وبذلك تكون الوحدة المحتوية على القاعدة المناسبة هي التي تتصل اتصالاً دائمًا في أي مكان كان، ثم تبدأ القرائن المناسبة في سد الثغرات الموجودة على طول السلسلة الجديدة. وبينما يحدث كل هذا تكون السلسلة الأخرى المنفصلة من الزوج الأصلى، قد كونت سلسلة جديدة مكملة لنفسها.

ويعتبر هذا الرأي حتى هذه اللحظة مجرد نظر لا تؤيدها إلا أدلة قليلة مباشرة فحسب، بل هناك عدد من الصعوبات الواضحة- فمثلاً تحتوى بعض الكائنات الحية

على كميات ضئيلة من قاعدة خامسة هي :– ميثايل– سايتوسين، غير أنه حسب النموذج السالف تكون قاعدة – ميثايل– ساسيتوسين مناسبة مثلها مثل قاعدة السايتوسين– وربما يظهر مستقبلاً أنه سيان بالنسبة الكائن الحي إذا استعمل أي القاعدتين غير أن ذلك لم يثبت بعد.

والصعوبة الأساسية الأخرى هي كيف تنفك السلسلة الملتوية؟ إذ أن الطول الإجمالي لجميع مادة DNA في الكروموسوم الواحد يقرب من أربعة سنتيمترات (٤٠٠ مليون وحدة أنجو ستروم) ويعني هذا أنه لا بد أن يكون هناك ما يربو على العشرة الملايين لفة أو انثناء، رغم أن DND ربما لا يوجد على هيئة قطعة واحدة.

ومن الممكن جعل عملية الاودواج هذه تبدو أكثر قبولاً إذا افترضنا أن تخليق السلسلتين الجديدتين يبدأ بمجرد أن تبدأ السلسلتان الأصليتان في الانفكاك، بحيث لا يكون هناك إلا جزء صغير من السلسلة على حالة انفراد.

وفي الواقع يمكننا أن نفترض أن نمو السلسلتين الجديدتين، هو الذي يعمل على فك الزوج الأصلي من السلاسل. وهذا الرأي الأخير جائز في عرف الطاقة، إذ تكون رابطتين أيدروجيتين بدلاً من كل رابطة أيدروجينية تنكسر. أضف إلى هذا أن السلسلة المزدوجة تكون تركيبا متوترا، وتعمل السلسلة الجديدة النامية على فك الزوج القديم ويرجع السبب في صعوبة فك السلسلتين إلى كونهما متشابكتين.

فليست هناك صعوبة في فك سلسلة حلزونية واحدة، وذلك راجع إلى وجود عدد كبير من روابط فردية في السلسلة تسمح بالدوران. فإذا حدث وكسرت إحدى السلسلتين في التركيب المزدوج، فإنه يسهل على الأخرى أن تدور حولها، ويعمل ذلك على تقليل التوتر، ثم يحتمل أن يتصل طرفًا السلسلة المسكورة معًا. وهناك بعض الأدلة التي تثبت احتمال كسر سلاسل مادة DNA في عدة أماكن، في أثناء عملية استخلاصها، وأنه رغمًا عن ذلك فإن تركيب المادة يظل متماسكًا بفضل الروابط الأيدروجينية، وذلك أنه قلما يحدث أن تكسر السلستان معًا في نفس المستوى. ومع

كل هذا وبالرغم من هذه الافتراضات التجريبية مازالت مشكلة فك هذه السلاسل مشكلة عويصة.

ويبقى اللغز الأساسي، ألا وهو كيف تباشر مادة **DNA** صفاتها الوراثية؟ يشترط في المادة الوراثية أن تقوم بوظفيتين: هما الازدواج والتحكم في نشاط الخلية بطريقة خاصة. هذا وقد عرفنا كيف تقوم بالوظيفة الأولى، غير أن تركيبها لا يقوم دليلاً واضحًا يتعلق بقياساتها بالوظيفة الثانية. ويشتبه في قيام ترتيب القواعد ونظام تتابعها مقام الشفرة الوراثية. فمثل هذا الترتيب قادر على حمل عدد هائل من الصفات. فإذا تصورنا أن أزاوج القواعد تقابل النقد والشروط في شفرة مورس، فهناك في الخلية الواحدة من خلايا جسم الإنسان من مادة **DNA** ما يكفى لكتابة ألف كتاب كبير، وكل ما يزيد معرفته مع ذلك، هو كيف يحدث هذا في ضوء ترتيب الذرات والجزيئات أو بمعنى آخر ماذا ترمز إليه هذه الشفرة؟ وقد سبق أن عرفنا أن المكونات الرئيسية الثلاث للمادة الحية، هي البروتين، ومادة **RNA** ومادة **DNA** يحتمل أن تكون مبنية بنفس الخطة العامة– فهياكلها منتظمة ويأتي الاختلاف من ترتيب المجموعات الجانبية. وعلى هذا المكونات الرئيسية الثلاثة للمادة الحية، هي البروتين، ومادة **DNA** يعتبر بطريقة ما شفرة ترمز لترتيب الأحماض الأمنية في السلاسل كثيرة الببتيدات للبروتين الذي تكونه الخلية. هذا وقد اقترح حديثًا الفيزيائي جورج جامو نظامًا مقتضبًا لكيفية نقل هذه الصفة، إلا أن هناك بعض الصعوبات المتعلقة بالنظام الذي اقترحه، كما أنه لم يوضح كيف يمكن تفسير هذا الرأي في ضوء ترتيب الجزيئات.

والسؤال الآن هو: ما مزايا النموذج المقترح؟ أن أول مزاياه أن الترتيب المقترح ليس غامضًا، ويسهل على الكيميائي فهمه، كما يمكن وصف ازدواج القواعد بدقة، إلا أن تحديد موقع الذرات في الهيكل أقل تأكيدًا، غير أنه يمكن تحديدها بالتقريب، وربما ساعدت المعلومات المستقاة من الأشعة السينية التي تجمع في كلية كنجر حاليًا على تحديد أماكنها بدقة أكبر. ويجمع هذا النموذج بين ظاهرتين تبدوان لأول وهلة غير مرتبطتين رغم ارتباطهما: أولاهما، نتائج التحاليل التي تثبت أن نسبة الأدينين للثايمين،

ونسبة الجوانين للسايتوسين في الجزئ، هي واحد لواحد، وثانيتهما، الطبيعة الحلزونية لنماذج الأشعة السينية لهذه المركبات. إذ يأخذ النموذج المركب بنسب القواعد السابقة شكلاً حلزونيا وأخيرًا، هل يمكن أن يكون من قبل المصادفة البحتة، أن نجد في هذه المادة الرئيسية تركيبا من النوع القادر على القيام بعملية ازدواج خاصة، وتركيبا يجمع بين القدرة على التكملة والإضافة؟

والنموذج بسيط لدرجة تدعو للغرابة، فبينما يكون تركيب الكروموسومات الكاملة معقدا للغاية إلا أنه من الجائز أن نتوقع أن يكون الأساس الجزيئي الكامن وراء تركيبها بسيطًا، ولو صح هذا فلن يكون من الصعب تصميم تجارب الغرض منها الكشف عن هذا التركيب، ومما لا شك فيه أنه لو قدر لعلماء الكيمياء الحيوية معرفة المواد الأولية المولدة لمادة **DNA** لسهل الأمر. ولو عرفنا الوحدات التي تتكون منها مواد **RNA, DNA** والبروتين فستتاح لنا الفرصة لتخليقها في أنبوبة الاختبار، وليكن تركيب هذه المادة ما يكون، فقد وضعنا أيدينا، الآن ولأول مرة، على نموذج واضح المعالم لمادة **DNA**، ولدينا فكرة عن عملية الازدواج التي تكرر بها هذه المادة نفسها، ولسوف يتيح لنا هذا في حد ذاته الفرصة لتصميم تجارب حاسمة في المستقبل.

تكاثر الفيروسات

جانثر. س. ستنت

مازلنا نعتبر عملية الثوارث، من أكثر أسرار علم الحياة المثيرة الدهشة ولا يزال عباقرة الباحثين البيولوجيين، في جميع أنحاء العالم عاكفين على دراستها في حماسة شديدة. وقد قام العلماء بدراسة هذه العملية من زوايا كثيرة، وأكثر هذه الزوايا اثارة تلك التجارب التي أجريب على فيروسات البكتريا. وفيروس البكتريا كائن حي، يقوم بعملية التكاثر محافظًا على نوعه، بطريقة غاية في البساطة، ولكنها تثير الحيرة. يلتصق الفيروس بالبكتريا، ثم يدخلها بسرعة، وبعد ٢٤ دقيقة ينفجر الباكتير يوم كالبالون، حيث يخرج نحو ٢٠٠ فيروس جديد كل منها نسخة مطابقة للفيروس الأصلي. كيف يتكاثر هذا الفيروس؟ وما الذي يحدث داخل خلية البكتريا في هذه الدقائق الحرجة؟

لقد أمكن البدء في الإجابة عن هذه الأسئلة فقط خلال السنوات القليلة الماضية، وذلك باستخدام المستكشفات المشعة. والمستكشفات المشعة هي ذرات لها خاصية اشعاعية يمكن ادماجها في مادة الفيروس أو في مادة الوسط الذي يتكاثر فيه، وبتتبع هذه الذرات يمكن الخطوات التي تؤدي إلى تكوين فيروس جديد. وفي هذا الباب سنشرح بعضا من هذه التجارب والحقائق العلمية التي نتجت عنها.

يبلغ فيروس البكتريا حوالي $\frac{7}{\text{مليون}}$ من طول البوصة، ويتركب من حزئين الأول هو البروتين، والثاني هو حمض النيوكليك والحمض الأخير هو الديزوكسي ريبو النيو كليك "Desoxyribonucleic acid"

المعروف بالرمز AND وهو المادة الأساسية لجميع نوايا الخلايا، وعلينا الآن أن نبين دور هذين الجزيئين المكونين للفيروس في عملية التكاثر، ومن أين تأتي هذه المواد

عندما يتكاثر الفيروس داخل البكتريا النامية؟

أولاً: دعنا نشرح طريقة الاستكشاف: نفرض أننا نود أن نضع علامة على الجزء DNA من جسيم الفيروس، فنبدأ باختيار مكون أساسي لهذا الجزء وليكن مجموعة الفوسفات التي تقوم بربط أجزائه بعضها ببعض، ثم فدخل فيها عنصرًا مشعًا كالفوسفور ٣٢، وبهذا تصبح مادة DNA حاملة لذرات الفوسفور المشعة، وليتم لنا ذلك نبدأ بإضافة جزء صغير من الفوسفور المشع في الوسط الذي تنمو فيه البكتيريا، ويمكننا ضبط هذه الإضافة، بحيث تختلط كل ذرة مشعة بحوالي بليون ذرة من ذرات الفوسفور العادي، وذلك باستخدام عداد جيجر الذي يقوم بعد هذه الذرات المشعة في الوسط.

وإذا قمنا الآن بإصابة هذه المزرعة (البكتيريا النامية) بالفيروس فإنه سيختلط بنفس النسبة من الفوسفور المشع، ولمعرفة كمية الفوسفور المشع التي انتقلت إلى الفيروس لابد من فصله أولاً ويمكن فصل الفيروس من المزرعة بثلاث طرق:

١- باستخدام سرعات متزايدة من القوة الطاردة المركزية التي تطرد المواد المختلفة من المحلول بترتيب يتناسب مع أوزانها.

٢- بإضافة بكتيريا غير مشعة ليلتصق عليها الفيروس الذي يمكن فصله حينئذ باستخدام طريقة الطرد المركزي الخفيف.

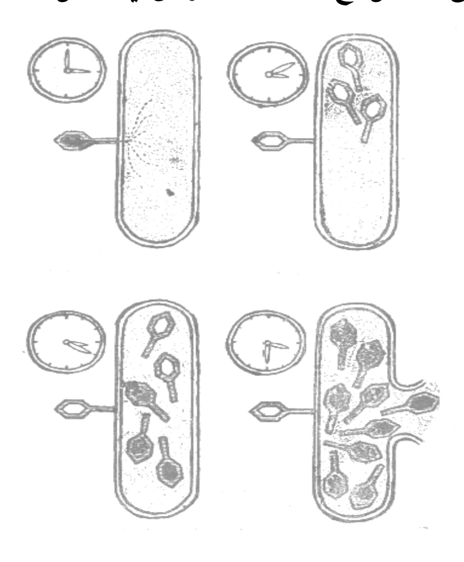
٣- بإضافة مصل (محضر من الأرنب) محتو على مواد مضادة لتتحد مع الفيروس وترسه من الزرعة.

ويستخدم نوعان من النظائر المشعة في أبحاث الفيروس البكتيري فوسفور ٣٢ لوضع علامات على فوسفات الجزء DNA من الفيروس، وكبريت ٣٥ لوضع علامات على الجزء البروتيني للفيروس. وتنتقل الآن إلى التجارب.

أجريت جميع التجارب على الفيروسات البكتيرية في النوع المسمى ت٢، والذي يصيب البكتيريا العادية "أشيرشيا كولاى" Escheruchia coli. فمنذ بضع سنوات

لاحظ الباحثان توماس ف. أندرسون من جامعة بنسلفانيا، وروجر.م. هيريوت من جامعة جون هوبكنز أن شيئًا غريبًا يحدث للفيروسات البكتيرية إذا ما تعرضت للصدمة الأسموزية، والصدمة الأسموزية هي تغيير فجائي في الضغط الأسموزي، ويمكن احداثه بإضافة الماء المقطر للمحلول الذي توجد فيه الفيروسات. فقد وجد في هذه الحالة أن هذه الفيروسات قد فقدت القدرة على التكاثر، في حين أن قدرتها على قتل البكتيريا لا زالت كما هي. وإذا فحصت بالمجهر الإلكتروني تظهر كأنها حقائب أفرغت من محتوياتها، وبالتحليل الكيميائي ظهر أنها قد فقدت كل مادتها من DNA.

وحديثا.. أعاد هذه التجارب وأكدها عالمان هما أ.د. هيرشي و م. و. شاسي- وهما يعملان في معمل الوراثة بمؤسسة كارنيجي بواشنجتون، فوجدا باستخدام مادة DNA التي تحتوي على الفوسفور المشع، أن الفيروسات تفقد هذه المادة فعلاً إذا ما تعرضت للصدمة الأسموزية، وأن هذه المادة تبقى في المحلول ويمكن أن تتحلل بسهولة إذا أضيف إليها الأنزيم المحلل لها، وهذا يدل على أن هذه المادة قد خرجت من الغطاء البروتيني الذي يحمى الفيروسات. وإذا فصلنا هذا الغطاء البروتيني من المحلول ووضعناه في مزرعة بكتيرية وجدناه لا يزال يتمتع بكل قوى الفيروس القديمة كإصابة وقتل البكتريا، والقدرة على التفاعل مع مضادات الفيروس في المصل.



يبين الشكل طريقة تكاثر فيروسات البكتريا، تبين الساعة التقدم ووقت التفاعل، يبين الشكل الكبير البيضاوي البكتريوم. يمثل الفيروس بجزئين، الجزء الخارجي، وهو البروتين الذي يلتصق بسطح البكتريوم، والجزء الداخلي الأسود الذي يمثل حمض نيوكليك والخطوة الأولى للتكاثر هي العدوى، وربما يلتصق الفيروس في هذه الحالة بوساطة ذيله، بالبكتريوم، حيث يفرغ حمض النيوكليك في البكتريوم، ويبقى الغلاف البروتيني في الخارج، والخطوة الثانية "الفترة السوداء" يهيئ حمض نيوكليك الفيروس الموجود في البكتريوم الفرصة لتكوين غلاف بروتيني جديد، ويكون الغلاف في هذه الحالة حاليًا من حمض نيوكليك، حيث لا توجد حتى هذا الوقت أي مادة معدية. والخطوة الثالثة، المسماة "الفترة الزائدة" تحتوي بعض الأغلفة البروتينية على حمض نيوكليك، وهذه تمثل المواد المعدية في الجيل الأول. وتحدث الخطوة الأخيرة بعد حوالي ٣٠ دقيقة من الابتداء، ثم ينفجر البكتريوم المصاب حيث ينطلق الجيل الجديد في المحلول الخارجي. ويعيش فقط حوالي ٢٠٠ مادة من الجيل الجديد.

ومن هذا يظهر جليا أن كل جزء من الفيروس يقوم بوظيفة خاصة فالغطاء البروتيني يقوم بعملية إصابة وقتل البكتريا، أما مادة DNA فتقوم بعملية التكاثر وبناء أفراد جديدة، تحمل نفس الصفات الوراثية، وقد وافق على هذه الحقيقة بقية العلماء مما شجع هيرشلى وشاس على الاستمرار في هذا البحث.

وضع هذان العالمان الفيروسات في مزارع البكتيريا التي سبق قتلها بالحرارة فشبكت الفيروسات نفسها في البكتيريا الميتة، ثم أفرغت محتوياتها من مادة DNA وقد وجد في هذه الحالة أن الأنزيم المحلل لمادة الديزوكسى ريبونيو كليك يستطيع أن يحللها بسهولة حالما تخرج من الفيروس. وبالمثل إذا قتلت البكتيريا المصابة بالفيروس بالحرارة، فإنه يمكن لهذا الأنزيم الأخير أن يحلل مادة DNA ولا يستطيع الأنزيم أن يحلل هذه المادة DNA داخل البكتيريا الحية. من هذا نستنتج أن غشاء البكتيريا الحية هو الذي يحمى مادة DNA من فعل الأنزيم، ولكن إذا قتلت البكتيريا أصبح غشاؤها منفذا للأنزيم.

ولمعرفة ما يحدث للغطاء البروتيني للفيروس بعد افراغ مادة DNA في البكتيريا، قام هيرشلى وشاس بإصابة مزرعة من البكتيريا بالفيروس بعد أن وضع علامة من الكبريت المشع في مادة البروتين، ثم قاما بتعريض البكتيريا المصابة الأسموزية في مقلب "ولرنج"، وهو جهاز يستخدم في تقليب المخاليط في المعمل، ووجدا بهذه الطريقة أن حوالي ٨٠% من البروتين الذي يحمل الكبريت المشع قد خرج من البكتيريا، ولكن لم يخرج أي كمية من مادة DNA ولم يحدث أي اضطراب في عملية تكاثر الفيروس داخل البكتيريا. ويدلنا هذا على أن بروتين الفيروس يبقى خارج الخلية البكتيرية، وينتهى عمله بمجرد افراغ مادة DNA داخل الخلية البكتيرية. كما تعطينا هذه التجربة تأكيدًا آخر بأن مادة DNA هي المسئولة عن عملية التكاثر.

وفي داخل الخلية البكتيرية "العائلة"، يقوم حمض النيوكليك بتكرار نفسه ٢٠٠ مرة، كما يباشر عملية إنتاج ٢٠٠ غطاء بروتيني تشبه غطاءه القديم. من أين اذن تأتي المواد الخام الخاصة بهذه العملية؟ وكيف تتم العملية البنائية؟

في سنة ١٩٤٩ حاول سيمورس كوهين: وهو باحث من جامعة بنسلفانيا، ويعتبر من أوائل الذين درسوا تكاثر فيروس البكتريا باستخدام المستكشفات المشعة، أن يجيب عن الجزء الأول من هذا السؤال في في تجربة أوضح فيها مصدر المواد الخام وبخاصة الفوسفور.

هل تأتي هذه المواد الخام من البكتيريا نفسها أو من الوسط المحيط بها؟

لذا قام بعمل مزرعتين من البكتيريا: الأولى في وسط يحتوى على فوسفور مشع، والثانية في وسط غير مشع، ثم أخرج الخلايا البكتيرية من المزرعتين وعكس وضعها في المحاليل، أي وضع البكتيريا غير المشعة في الوسط المشع وبالعكس. ثم أضاف الفيروس إلى كل من المزرعتين، وانتظر حتى انفجرت البكتيريا وخرجت الفيروسات الجديدة، ثم فصلت وقيست درجة الإشعاع فيها، فوجد أن الفيروسات التي أخرجت من البكتيريا غير المشعة، والتي نقلت إلى وسط مشع تحمل الذرات المشعة، وتحتوى على حوالي ثلثي

تركيز الفوسفور المشع للوسط الذي غمست فيه البكتيريا.

وفي الناحية الأخرى وجد أن الفيروسات التي خرجت من البكتيريا المشعة المنقولة إلى الوسط غير المشع ليس لها إلا ثلث كمية الفوسفور المشع التي في البكتيريا. ولهذا استنتج كوهين أن الأجيال الجديدة من الفيروس، قد حصلت على ثلثي فوسفورها المشع من الوسط الذي تكونت فيه، وثلث من البكتيريا. وأدهشت هذه النتيجة هؤلاء البيولوجيين الذين طالما فرضوا أن فيروسات البكتيريا تتكون من مواد جاهزة الصنع موجودة أصلاً في الخلية البكتيرية.

في جامعة شيكاغو قام فرانك و. بيوتنام ولويد م. كوزولوف بدراسة مشابهة باستخدام نتروجين ١٥ كمستكشف، ووجدا أن بروتين الفيروسات لا تختلف عن مادة DNA في أن معظمها يتكون من المواد التي تمثل من وسط النمو.

وبعد تجربة كوهين التي كشفت عن مصدر الفوسفور، بقى أن تتبع عملية تحويل الفوسفور غير العضوى إلى مادة DNA في الفيروس من وقت بدء البكتيريا في النمو حتى خروج الفيروسات الجديدة. وفي معهد الدولة للمصل بالدانمارك، قام أول مالو والمؤلف بتجربة تعتبر امتدادا لتجربة كوهين، فاستخدما الفوسفور المشع، وقاما بنقل البكتيريا المشعة إلى وسط غير مشع، والعكس في فترات مختلفة من تطور حالة نمو المزرعة قبل وبعد اصابتها بالفيروس. وبهذه الطريقة أمكنها تحديد الكمية المضبوطة من الفوسفور، الذي تأخذه البكتيريا من الوسط المحيط بها وتعطيه إلى الفيروس خلا مراحل التطور المختلفة، وقد وجد أن البكتيريا أخذت الفوسفور قبل الإصابة بالفيروس بسرعة تتناسب مع سرعة نموها، وهذا يعني أنها تستعمل الفوسفور لصنع مادتها من DNA. ولكن بعد الإصابة تزيد هذه الكمية زيادة كبيرة، لأنه أصبح من الضروري إعطاء معظم الفوسفور الممتص للفيروسات الجديدة.

ولوحظ أيضًا عملية تحويل الفوسفور غير العضوي إلى مادة DNA تستغرق على الأقل ١٢ دقيقة. لذا فإن الفوسفور الذي سيدخل في تكوين الفيروس الجديد، لا بد

أن يمضي عليه مدة ١٢ دقيقة قبل دخوله في تكوين الفيروس. وتبعًا لهذه الحقيقة وجد أ.هـ دويرمان أن المدة ٢٤ دقيقة التي يتكون فيها الفيروس يمكن تقسيمها إلى قسمين كل منهما يستغرق ١٢ دقيقة. وفي تجربة له في كولدسبرنج هاربر، فتح البكتيريا المصابة بالفيروس في أطوار مختلفة. ووجد أنه خلال الفترة الأولى لم يكن هناك أي فيروس قد تكون تكوينًا كاملاً في داخل الخلية البكتيرية. وبعد مضي ١٢ دقيقة تظهر الجسيمات الأولى للفيروس، ثم يتبعها جسيمات أخرى حتى يبلغ العدد ٢٠٠، فتنفجر الخلية. والتفسير واضح، وهو أن الفيروس المغير يفقد عطاءه البروتيني عند دخوله للخلية البكتيرية، وعليه يفقد قدرته على الإصابة والغزو ولا يظهر أي فيروس آخر، حتى يتم تكوين غطاء بروتيني جديد على الأقل، ويتحد بوحدة من مادة **DNA** وتستغرق هذه العملية الأخيرة حوالي ١٢ دقيقة.

ويظهر أن عملية صنع البروتين ومادة **DNA** تسيران جنبًا إلى جنب في الخلية. وباستخدام الكبريت المشع وجد العالمان مالو ونيفيل سيمون من معهد كاليفورنيا أنه في الوقت الذي يظهر فيه أول فيروس له قدرة غازية، تكون الكمية المتكونة من البروتين الفيروسي في الخلية كافية لتكوين حوالي ٦٠ فيروسًا. وباستخدام الفوسفور المشع في تجارب مماثلة وجدت قرائن تدل على أن الوحدات المتكونة من **DNA** لا تتحد مع وحدات البروتين إلا في آخر اللحظات، وحينئذ يصبح الجسم الفيروسي غازيًا

وقد سبق إثبات أن مادة **DNA** في الفيروس الغازي، هي المسئولية عن عملية التكاثر الفيروسي في الخلية البكتيرية، سواء في تكوين مادة **DNA** نفسها أو في تكوين البروتين. كيف تتم إذن هذه العملية؟

وضع بوتنام وكوزلوف علامة من الفوسفور المشع على الفيروس وتتبعا هذا العنصر المشع لمعرفة ماذا يحدث لفوسفور الفيروس بعد غزوة للبكتيريا. بهذه التجربة وجد أن حوالي ٤٠% من الفوسفور المشع تظهر في الأجيال الفيروسية الجديدة، في حين يترك الباقي في بقايا الفيروس الأصلي. وأظهرت تجارب الفيروس المشع أن ما يحدث للفوسفور لا يختلف عما يحدث لبقية مادة **DNA** وعلى هذا يمكننا أن نقول:

أن حوالي ٤٠٪ من مادة DNA من الغازي الأصلى يمكن تنتقل إلى الأجيال القادمة من الفيروس.

كيف تنتقل مادة DNA من الفيروس الأصلى إلى الفيروسات الجديدة؟

هل تنتقل هذه المادة لعدد من الأفراد الجديدة؟ وتوزع توزيعًا عامًا على الجميع؟ قام هيرشى ومارتن د كامن، من جامعة واشنجتون بسانت لويس بالتجربة التالية للإجابة عن هذا السؤال: وذلك بإصابة البكتيريا بفيروسات غير مشعة في وسط له درجة اشعاع كبيرة (بنسبة ذرة مشعة من الفوسفور لكل ألف ذرة غير مشعة، وهذه الدرجة من الإشعاع تسبب تآكل الذرات في الجزيئات التي تحملها فإذا كانت مادة DNA للفيروس تنتقل بنسبة معينة من الأفراد، فإن هؤلاء سيكون لهم قدرة غازية في حين أن بقية الأفراد ستفقد هذه القدرة لاحتوائها على الفوسفور المشع. ولكن الذي حدث أن الفيروسات الجديدة أخذت تفقد قدرتها الغازية، حتى لم يبق محتفظًا بهذه القدرة إلا حوالي ١٪ منها.

هل من الممكن أن تنحصر عملية التوارث الفيروسي في تنقل حوالي ٤٠٪ من مادة DNA إلى الفيروسات الجديدة، وأن البقية لا تساهم في هذه العملية؟

وللإجابة عن هذا السؤال قام مآلو وجيمس واطسون في معهد الدولة للمصل بالدانمارك بإنتاج ثلاثة أجيال من الفيروس، بعد وضع علامة من الفوسفور المشع على مادة DNA للفيروسات الأولى. وبعد أن أنتجت فيروسات الجيل الثاني، وجد أن هذا الجيل يحتوى على ٤٠٪ من الفيروس المشع. فإذا كان انتقال الفوسفور المشع من الجيل الأول إلى الجيل الثاني يحدث بنسبة تكاثر به خاصة لمادة DNA كان من المتوقع أن تنقل جميعها إلى الجيل الثالث: ولكن الذي حدث أن الجيل الثالث لم ينتقل إليه إلا النسبة المعتادة وهي ٤٠٪ وعليه فلا بد من أن نستنتج أن مادة DNA لا تنتقل كجزء ثابت، بل توزع بطريقة عامة على تراكيب الأجيال الجديدة.

والآن يمكننا من إجمال النتائج المختلفة لتجارب المتتابعات أن نرسم الصورة الآتية

لعملية التكاثر في الفيروسات: فالفيروس يلتصق بسطح الخلية البكتيرية بوساطة بعض الخصائص التي يتميز بها الغطاء البرتيني. وهذا الالتصاق يفتح الفيروس في الحال ويفرغ محتواه من مادة DNA في الخلية، وينتهى دور الغطاء البروتيني عند هذا الحد. وفي داخل الخلية تبدأ مادة DNA في زيادة عددها، وتستخدم لذلك حمض النيوكليك الذي في البكتيريا، والمواد التي تمتصها البكتيريا من الوسط المحيط كمادة خام. وينتقل حوالي ٤٠% من مادة DNA للفيروس إلى الأجيال الجديدة، وتباشر هذه المادة عملية صنع البروتين الجديد في الخلية، وأخيراً تتحد وحدات البروتين مع وحدات DNA" لتكون ٢٠٠ فيروس تشبه الفيروس الأصلى.

والحقائق المكتشفة حتى الآن لا تعطينا إلا الخطوة الرئيسية للعملية، ولكنها كبداية تمهد لنا الطريق للوصول إلى ذلك السر الذي يتمكن به الكائن الحي من بناء نسخ من نفسه، ونقل صفاته من جيل إلى جيل.

الريكتسيا

ماريانا بوفارنيك

لا تنحصر أهمية الريكتسيا، في أنها مسبب كبير لبعض الأمراض عند الإنسان، ولكنها تعتبر نوعًا جديدًا من الكائنات الحية يمكن للبيولوجيين دراسته، ويمكن وضعها في السلسلة الحيوية بين البكتيريا والفيروس، وتشبه الفيروس في أنها طفيلية، ولا تستطيع أن تتكاثر إلا في خلايا العائل، ولكنها من ناحية الحجم والتعقيد التركيبي وقوتها على التمثيل الغذائي، تقترب من البكتيريا. فأين تقع إذن هذه الكائنات في سلسلة التطور؟ وهل تستطيع أن تدلنا على شئ عن منشأ الفيروس والبكتيريا؟

أحد أمراض الريكتسيا تيفوس وبائي كان لمدة طويلة مصدر تعب للإنسانية، وكان يظهر في أوقات الحروب والأوقات تسيطر عليها التعاسة، كما يظهر من الأسماء التي أطلقت عليه. فقد أطلق عليه "حمى السجن" "وحمى المستشفيات" "وحمى المعتقلات". وقد اكتشف هذا المرض خلال القرن الخامس عشر في أثناء حرب جراندا مع أسبانيا، وانتشر بعد ذلك في أوربا كلها. وقد نسب هانز زنسر إلى وباء التيفوس مصير حرب قامت في القرن السادس عشر، فقد كان هذا المرض سببًا في فشل محاولات فرانسيس الأول للسيطرة على إيطاليا، والسلطة البابوية ونزعها من قبضة شارب الخامس حاكم أسبانيا. وخلال حروب القرون التالية قتل التيفوس من الناس أكثر مما قتلت المعارك نفسها. وقد خرب هذا المرض أوروبا الشرقية، في أثناء الحرب العالمية الأولى. وبعد ذلك بقليل نكب حوالي ٣٠ مليونًا وقتل حوالي ٣ ملايين في روسيا. وقد حدث خلال الحرب العالمية الثانية، أن هاجم التيفوس منطقة البحر الأبيض المتوسط كما تفشى في معتقلات ألمانيا وفي الشرق الأقصى، وظهر وباء قاس أصاب نحو ٢٦٠٠٠ شخص بعد الحرب العالمية الثانية بقليل في اليابان وكوريا. وقد درس هذا المرض جيدًا في هذه

الأيام ولم يعد له ضحايا كثيرون كما كانت الحال في الماضي.

وإلى جانب وباء التيفوس تتضمن أمراض الريكتسيا، حمى الجبال الصخرية المنقطة، وتيفوس الحك، وتيفوس الطيور الذي ينتشر في كثير من أنحاء العالم.

والريكتسيا المعدية تنقل بوساطة ناقل حشرى. وأول من اكتشف هذا كان بكتيريولوجيا فرنسيا يدعى شارب نيلول، الذي اكتشف أن وباء التيفوس ينتقل من شخص إلى آخر بالقمل، وبعد ذلك بقليل اكتشف أن حمى الجبال الصلبة المنقطة تنتقل إلى الإنسان بوساطة البراغيث، وهي لا تمثل الناقل فحسب، بل تستعمل كمخزن طبيعي أيضًا لهذه الكائنات الحية الدقيقة. كما ثبت أن العائل الطبيعي لفيروس الحك والطيور هو الفئران المنزلية وفئران الحقل. وينتقل فيروس الحك للإنسان بوساطة القمل، كما ينتقل فيروس الطيور بوساطة قمل الفئران المنزلية.

وبعد أن عرف الناقل سهل بعد ذلك تفسير انتقال الوباء بهذه السرعة العجيبة في الأوقات التي لا يغير الناس فيها ملابسهم حقيرهم أو عظيمهم لمدة قد تطول إلى آخر فصل الشتاء. ولكنه لم يكن من السهل معرفة الكيفية التي ستمر بها المرض من موجة وبائية إلى أخرى، من غير أن يكون له مصدر معروف، فمن الواضح أن الإصابة بالمرض تميت القملة، وليس للمرض بعد ذلك إلا أن يختفي حين يهدأ الوباء ويموت القمل المصاب. فما هو أذن المصدر الذي يحفظ العامل المعدى حتى يظهر الوباء في موجة أخرى؟

تولى حل هذه المشكلة العسيرة الدكتور ناثان من مدينة نيويورك الذي لاحظ أن وباء التيفوس لم يحدث إطلاقًا في نيويورك، ولكنه لاحظ أنه في وقت من الأوقات ظهرت أعراض المرض بصورة خفيفة على بعض السكان، وبالرجوع إلى السجلات لاحظ زنسر أن معظم هؤلاء المرضى (وقد عرفوا حينئذ بالمصابين بمرض بريل) كانوا مهاجرين من أوربا الشرقية. وقد استنتج من ذلك أنهم ربنا أصيبوا بوباء التيفوس في وطنهم الأصلى، وظلت الريكتسيا في حالة ساكنة في داخل أنسجتهم. وقد أظهرت

الدراسات الحديثة لموراى وسنايدر أن القمل الذي يعيش ويتغذى من أجسام هؤلاء المرضى يصبح مصابًا بالريكتسيا، ثم ناقلا لوباء التيفوس.

ولم تعرف الريكتسيا إلا في أوائل هذا القرن العشرين، حين شوهد الكائن الحي الدقيق المسبب لوباء التيفوس تحت المجهر، في عينة من الأمعاء الدقيقة لقملة مصابة، وقد سمي ريكتسيا بروازيكي تكريمًا لأول باحثين اكتشفاها وهما هوارد ركتس وستانيلاس بروازيك، وقد مات كلاهما بالتيفوس خلال أبحاثهما.

وقد حضرت الطعوم "الفاكسينات" الواقية من أمراض الريكتسيا أولاً من القمل المصاب، وبعد ذلك من مزارع الريكتسيا التي تنمى على صفار البيض لأجنة الكتاكيت. وتتكون هذه الطعوم من كائنات حية مقتولة، وباستخدامها انخفض عدد الموتى من اصابات الريكتسيا فعلا إلى الصفر. وزيادة على ذلك ظهرت الآن عدة أدوية مضادة للكائنات الحية الدقيقة كالأوريوميسين، والكلورام فينيكول والتيراميسين، ولها قدرة رائعة لمحاربة أمراض الريكتسيا.

ويتركز اهتمامنا الآن على دراسة طبيعة هذه الكائنات الحية وكيفية تصرفها. وقد ظهرت في هذا المجال عدة طرق لقياس درجة تكاثرها وقدرتها على مهاجمة الحيوانات. تأخذ هذه الطرق عادة وقتا أطول من مثيلاتها على الفيروسات أو البكتيريا لأن نمو الريكتسيا يأخذ وقتًا أطول، ولكن هناك طريقة سريعة في حالة التيفوس، إذ وجد أن حقن تركيز عال من تيفوس الريكتسيا في وريد ذيل الفأر يقتل الحيوان خلال ساعات قليلة. وكما نعلم لا يرجع هذا الموت السريع إلى تكاثر الريكتسيا، ولكنه نتيجة لسموم معينة لم يمكن فصلها بعد في هذه الكائنات.

وتلقى الريكتسيا ضوءًا على النقط الهامة في علم الحياة فيما يتعلق بأصل الفيروسات. هل الفيروسات هي إنتاج حلوى أو هي نواتج تحليل لمواد إخراجية لكائنات أرقى؟

تبعًا للنظرية الأولى ينشأ الفيروس من أجزاء من خلية العائل الحية وربما في

الجينات، وتبعا للنظرية الثانية تطورت من كائنات حية أكثر تعقيدًا وربما كانت البكتيريا. خلال هذا التطور فقدت كل قدرة البكتريا على التمثيل، وأصبحت معتمدة اعتمادًا كليًا، في صنع المواد الكيميائية وغيرها من التفاعلات اللازمة لتكاثرها، على الخلية التي تغزوها. ومن هذا الموقف يظهر عليها بعض القدرات في تمثيل الغذاء كالتي في البكتيريا.

ولمعرفة قدرة الريكتسيا على التمثيل الغذائي، تصادفنا عقبة كيفية حفظ هذه الكائنات حية خارج الخلية العائلة ومن دراسة العوامل التي تؤثر في ثبات ريكتسيا التيفوس ظهرت عدة حقائق مثيرة تبين القدرة الكيميائية الحيوية لهذه الكائنات.

في هذه التجارب وضعت الريكتسيا عند درجة حرارة ٩٣ درجة فهرنهيتية لمدة معينة في أوساط غذائية مختلفة، وقدر العدد الحي من أفرادها فوجد أن الريكتسيا تفقد كل نشاطها خلال ساعات قليلة، إذا وضعت في حساء مغذ كالذي تنتعش فيه البكتريا، ولكنها تعيش بدرجة متوسطة لمدة ساعات في وسط ملحى يشبه إلى حد ما وسط الخلية الحيوانية. كما وجد من الاختبارات الأولى في هذا الموضوع أن حيوية الريكتسيا، قياسًا على قدرتها على الإصابة، تزيد كثيرًا إذا أضيف حمض الجلوتاميك (وهو حمض أميني) لمحلول الملح وقد أظهرت اختبارات أخرى مماثلة أن هذه الكائنات الحية تستطيع أن تقوم بالتمثيل الغذائي لحمض الجلوتاميك. كما أن لها القدرة على الأكسدة البطيئة لمادتي البيروفات والسكسينات، وهاتان المادتان كحمض الجلوتاميك، تتأكسدان في معظم الأنسجة الحيوانية والنباتية. وقد ظهر بعد ذلك، من محاولات كثيرة، أن الريكتسيا لا يستطيع التمثيل الغذائي بدرجة ملحوظة إلا لهذه المواد فقط. ولكن بريس، من جامعة جون هون بكنز بمدرسة الصحة العامة، وجد حديثًا أن حمى لريكتسيا المنقوطة تستطيع أن تؤكسد ثلاث مواد أخرى هي الكيتوجلوتارات والفيومارات والأكسالواسيتات.

وإذا نظرنا إلى هذه المواد وجدنا أنها نفس المواد التي تكون التفاعلات المعروفة بدورة حمض الستريك، وتجرى تفاعلات هذه الدورة في الميتوكوندريا (جسيمات صغيرة في خلايا الحيوانات). تستخدم الميتوكوندريا في الخطوات الأخيرة لهذه الدورة،

الفوسفات غير العضوية في تكوين مركبات غنية بالطاقة كالأدينوزين ثلاثى الفوسفات ATP وهذه المركبات تمد الخلية الحيوانية بالطاقة اللازمة لمختلف النشاط الحيوى. لذا يمكننا الآن أن نقول: إن جميع تفاعلات حلقة حمض الستريك قد تحدث في الريكتسيا، أي أنها تستطيع أكسدة حامض الجلوتاميك، ولو أنه لم يثبت بعد قدرتها على تحويل الفوسفات غير العضوية إلى مادة ATP خلال هذه الأكسدة وتعتبر هذه الأبحاث الصعبة، إذ لم ينجح أحد حتى الآن في الوصول إلى تحضيرات من الريكتسيا تستطيع المحافظة على حيوية الأنزيمات الموجودة بها لمدة مناسبة.

وقد ظهر أيضا نوع من التشابه بين الريكتسيا والميتوكوندريا بعد سلسلة من التجارب الهامة. فقد اختبرنا علاقة هذا الكائن الحي المساعدة بمساعد الأنزيم (كوانزيم) وهي مواد تحتاج إليها الأنزيمات للقيام بوظائفها كعوامل مساعدة في التفاعلات. وقد ثبت أن الريكتسيا تستعمل مساعد الأنزيم DNA (نيوكليوتيد البيريدين ثنائي الفوسفات) وكوانزيم أ، وكلاهما ضروري لكثير من عمليات الأكسدة في الخلايا الحيوانية– ومن تجارب أخرى وجد أن هذين الأنزيمين لهما قدرة كبيرة لاستعادة نشاط الريكتسيا. فالريكتسيا تفقد نشاطها نتيجة للتبريد إلى درجة ٩٤ فهرنهيت. وإذا ما رفعت درجة الحرارة تفقد كل قدرتها على الإصابة تقريبا، ولكن إذا رفعنا درجة حرارتها إلى ٩٣ درجة فهرنهيت، مع وجود مساعد أنزيم DPN و «أ» نجد أنها تسترجع نسبة كبيرة من نشاطها الأصلي، وقد تبلغ الزيادة المكتسبة في النشاط عشرة أضعاف.

والتفسير الأكثر احتمالا لهذه الظاهرة أن الريكتسيا تفقد هذه الكوانزيمات من خلال جدارها الخلوي عندما ينكسر الجدار بالتبريد. وتبعت ذلك تجارب، حللت فيها مستخلصات الريكتسيا لتقدير كوالانزيم DPN وأظهرت أن هذا التفسير يطابق الحقيقة.

وليس من الغريب أن تحتاج الريكتسيا لكوانزيم DPN لعمليات الأكسدة فيها لأنه ضروري لمثلهذه العمليات في الخلايا الأخرى ولكن المدهش أن يحدد كوالانزيم قدرة هذا الكائن الحي على الأصابة، إذ أن كل الخلايا العائلة تستطيع أن تمده بها. ولذا

فالتفسير المحتمل لهذه الظاهرة هو أن الريكتسيا تحتاج إلى **DPN** لتخترق خلية العائل.

أما في حالة حمى الريكتسيا المتقطعة فقد لوحظ نوع من التغيرات العكسية تختلف تماما عما في الريكتسيا السابقة. فالبراغيث المصابة بهذا النوع من الريكتسيا عادة تقتل من ٢٥– ٥٠% من الأرانب الهندية المصابة بها، ولكن إذا حفظت البراغيث المعدية لعدة شهور تحت تبريد شديد، فإنها تفقد قدرتها على مثل هذه الأصابة، ولكنها تسترجع هذه القدرة إذا وضعت في جو دافيء لعدة أيام عند درجة ٩٣ فهرنهيتية. وقد بين برايس حديثا بالتجربة أن الريكتسيا بعد تبريدها تستطيع أن تسترجع قوتها لأصابة البيض، في حين أنها لا تستطيع إصابة الأرنب الهندي.

وعلى ضوء هذه الاكتشافات إذا نظرنا لمرضى بريل، الذين يعيش ريكتسيا التيفزس في أنسجتهم في حالة ساكنة لمدة سنوات، فإنه من المحتمل أن يقال: إن الريكتسيا تفقد بعض قدراتها، مثل اختراق خلية العائل أو التكاثر، لنقص مواد معينة كما تفقد نشاطها إذا ما نقص منها كوانزيم **DPN**.

ومن وجهة نظر الميكروبيولوجين فان أكثر الحقائق إثارة أن الميتوكوندريا تعاني نفس التغير الذي يحدث للريكتسيا عند تجميدها بالتبريد. ولا تستطيع الميتوكوندريا التي تتعرض لعملية التبريد في وسط ملحي أن تقوم بعد ذلك بعمليات الأكسدة العادية– أما إذا أضيف كوانزيم **DPN** فان ذلك يؤدي إلى استرجاع بعض نشاطها الأصلي على الأقل. وقد ظهر أنها عادة تحتوي على **DPN** في صورة متحدة، حيث يهرب منها عند التبريد. وزيادة على ذلك يمكن حماية الريكتسيا والميتوكوندريا من فقد القدرة المؤكسدة باضافة سكر القصب للسائل الذي تجمد فيه بالتبريد.

ويقودنا التشابه بين الميتوكوندريا والريكتسيا من ناحية المظهر والتفاعلات الكيميائية الحيوية إلى الفرض بأن الريكتسيا ربما تطورت من الميتوكوندريا، ولكن لا يخلو هذا الفرض من الشك، إذ أنه من المعروف أن الريكتسيا تحتوي على حمض الديسوكسي ريبونيوكليك الذي لا يوجد في الميتوكوندريا. والميتوكوندريا تستطيع أن

تؤكسد مواد كثيرة وبخاصة الأحماض الدهنية التي لا تستطيع ريكتسيا التيفوس أن تؤكسدها.

وإذا فرضنا أن الريكتسيا قد تطورت من الميتوكندريا، والفيروسات من الجينات فلا بد من وجود فاصل واضح بين البكتيريا والريكتسيا والفيروسات، حتي يناظر الاختلاف بين الميتوكندريا والجينات والخلية، ولكن العكس هو الصحيح، فهناك تدرج منتظم في الحجم والتعقيد الكيميائي من الفيروسات الصغيرة إلى الفيروسات الكبيرة ومنها إلى الريكتسيا. فالبكتيريا نفسها، تحتاج في نموها لمواد لها درجة كبيرة من التنوع التركيبي، فمنهما مواد بسيطة التركيب كالأملاح غير العضوية البسيطة، ومنها ما يفوق تعقده التركيبي تلك المواد التي تحتاج إليها الحيوانات الراقية.

وهذا يقودنا إلى فرض أكثر احتمالا وهو أن الريكتسيا أولا، ثم تليها الفيروسات تطورت تدريجيا من البكتيريا، وفقدت خلال هذا التطور الأنزيمات اللازمة للوظائف، التي أصبحت في غنى عنها بظهور الطريقة الطفيلية للمعيشة، وزاد اعتمادها على الأجهزة الأنزيمية للخلية العائلة، حتى أصبح كثير من الفيروسات يعتمد اعتمادا كليا على خلية العائل في التفاعلات اللازمة للتكاثر.

ومازالت الفروق الرئيسية بين الريكتسيا والبكتيريا غامضة، فبعض الكائنات الحية التي تشبه البكتيريا في تعقيدها مثل ميكروب الملاريا لا تستطيع النمو إلا في الخلايا الحية، وفي نفس الوقت على الأقل يستطيع فيروس مثل فيروس الأنفلونزا أن يقوم بتفاعل كيميائي: فهو قادر مثلا على تحليل مركب معقد في غشاء الخلايا التي يغزوها. ويظهر للمؤلف أنه من المتحمل أن التمييز بين البكتيريا والريكتسيا والفيروسات كأنواع مختلفة من الكائنات الحية قد يتلاشى عندما تتوغل في دراستها، وأن بعض التفاعلات التي تحدث في الريكتسيا ربما توجد في الفيروسات الكبيرة، وربما تستطيع هذه التفاعلات أن تدلنا على طريقة يمكن أن تنمو بها الريكتسيا خارج الخلية إذا وجدت الجزيئات المعقدة الضرورية.

الباب الرابع

الأنزيمات والطاقة

نبذة عن المؤلفين

١- جينات الإنسان والفطيرات: بقلم / جورج بيدل

جورج بيدل هو رئيس معهد كاليفورنيا قسم البيولوجي «علم الحياة» وهو من علماء الجينات وقام بأشهر أعماله على فطر الخبز النيوروسيورا **Neurospora** وهو موضوع هذا الفصل، ويقوم مع الكيميائي الكبير ليفس بولنج ببحث مشهور عن المشاكل الأساسية لعلم الحياة والطب.

٢- الأنزيمات: بقلم /جون فيفر

وهو محرر صحفي علمي، ليس عالما، وكان كاتب الجزء العلمي لمجلة الأخبار الأسبوعية ومدير القسم العلمي لجهاز الأذاعة في كولومبيا وعضو هيئة العلماء الأمريكيين ومؤلف كتاب العقل البشري ومؤلف الآن كتابا في الفلك الحديث.

٣- التمثيل الغذائي للدهون:بقلم /دافيد جرين

من أوائل المشتغلين بالولايات المتحدة في حقل كيمياء الأنزيمات. وقد تخرج في جامعة نيويورك سنة ١٩٣٠. أمضى فترة التدريب في انجلترا التي عمل فيها حتى سنة ١٩٤١ كزميل في مؤسسة بريت للأبحاث. ثم عاد الولايات المتحدة، حيث أصبح مسئولا عن معمل أبحاث الأنزيمات في كلية الأطباء والجراحين في جامعة كولومبيا. وهو الآن أستاذ كيمياء الأنزيمات، ويقوم بأبحاث في معهد الأبحاث للأنزيمات بجامعة وسكونسين.

جينات الإنسان والفطريات

جورج بيدل

منذ أكثر من ثمانين سنة وفي حديقة لإحدى الكنائس بجوار قرية برون التي توجد الآن في تشيكوسلوفاكيا، كان جريجوري جوهان مندل يقضي أوقات فراغه في دراسة تهجين أنواع فاصوليا الحدائق الصالحة للطعام. وقد تبلورت النظرية الحديثة للجينات نتيجة للتحليل العميق لدراساته. وكان مندل كزملائه من أوائل المستكشفين في العلم سابقا لعصره بأجيال، ولم تقدر اكتشافاته تقديرها المناسب إلا في سنة ١٩٠٠.

ومنذ ذلك الحين أخذ علماء الحياة يؤيدون ويطورون نظرية الجينات حتى وصلنا إلى ما هي عليه الآن– حيث تعتبر الجينات الواحدت الأساسية لجميع الأحياء. فهي الجزيئات المسيطرة على توجيه التطور والنشاط الحيوي للإنسان والأميبا.

وقد فصلت الوظائف الخاصة بالجينات في النباتات والحيوانات ودرست بالتفصيل. وقد كان أهم الكائنات الحية التي استخدمت في هذه الدراسات هي النوع الأحمر من فطر الخبز «نيوروسبوراكراسا»، والتي يمكن تغيير جيناتها صناعيا، وبذلك نسهل دراسة وتحليل أثر هذه الجينات على التغيرات الكيميائية وطريقة التمثيل الغذائي في الخلايا بدقة كافية. ومن مثل هذه التجارب نستطيع أن نصل إلى نوع المواد التي تصنع منها الجينات وكيف تؤثر في الكائنات الحية، وكيف أن الجينات نفسها وبالتالي الوراثة تتأثر بقوى الوسط المحيط. وفي الحقيقة نجد أن البيولوجيين يقتربون من نفسير النشأة الأولى للحياة خلال دراساتهم للجينات.

ويظهر أنه من المحتمل أن الحياة في ابتداء وجودها على الأرض ظهرت على هيئة وحدات تشبه الجينات الموجودة في الكائنات الحية اليوم، حيث اشتق منها كائنات أرقى

كنتيجة طبيعية لتطور حدث في هذه الجينات الأولية.

ويمكن القول بأن الكائنات الراقية ظهرت أولا في صورة أجهزة بسيطة تحتوي على جينات قليلة، ثم تطورت إلى خلية واحدة تحتوي على جينات كثيرة، وأخيرا إلى كائنات كثيرة الخلايا، توجد فيها الجينات مرتبة ترتيبا طوليا على شكل خيط طويل كروموسومي في نواة الخلية.

ما الذي نعلمه عن هذه الجينات التي لها مثل هذه الأهمية في عملية التطور؟ وفي عملية تخليق الكائنات المعقدة وفي نوع العمليات الحيوية التي تميز الكائن الحي عن العالم غير الحي؟ تعتبر الجينات عند علماء الوراثة، وحدات للوراثة. ويمكننا شرح هذه النقطة بأمثلة لبعض الصفات التي تورث في الإنسان.

فالأشخاص ذوو العيون الزرق يختلفون عن ذوي العيون البنية في إحدى الجينات، ويوجد هذا الجين الذي يحمل لون العينين في شكلين، وللسهولة يمكن الرمز للشكل الأول بالحرف «ب» وهو اللون البني، والشكل الثاني بالحرف «ز» وهو اللون الأزرق.

وتبدأ عملية تكوين الإنسان من خلية واحدة يبلغ قطرها حوالي $\frac{1}{1000}$ من البوصة، وتأتي هذه الخلية إلى الوجود من التحام خلية البيضة من الأم مع خلية الحيوان المنوي من الأب، وتحمل هذه البيضة الملقحة اثنين من الجينات يختصان بلون العينين أحدهما من الأم والثاني من الأب. وتبعا لشكل هذين الجينين فإن هناك ثلاثة أنواع من الاحتمالات يمكن أن تحدد لون العينين للأبناء. فالبيضة الملقحة أصبحت تحمل جينين قد يكونان ب ب، ب ز، ز ز، والنوعان الأولان، ب ب ، ب ز يكونان أفرادا لهم عيون بنية. ويكون الثالث ذوي العيون الزرقاء. ويرجع ذلك لأن جين العين البنية هو الصفة المتغلبة، أما الآخر (ز) التابع فإنه «صفة ضعيفة غير متغلبة».

وتأخذ الخلية الملحقة في الانقسام إلى كثير من الخلايا التي تنمو، وتنقسم هي الأخرى وتتطور إلى أنسجة متنوعة، حيث تنتهي بانسان كامل التكوين، وتتكاثر الجينات بانتظام مع كل انقسام للخلية. ونتيجة لذلك فإن الملايين من الخلايا التي

تكون الإنسان، لا بد أن تحمل نفس أشكال الجينات التي تتحكم في لون العينين كتلك التي كانت في الوالدين. وعندما تتكون البيضة وخلية الحيوان المنوي فان الجينات تختزل إلى النصف في كل منها. لذا فان الأم التي تحمل جينات من نوع «ب ب» يتكون منها بيضة تحمل النوع «ب» فقط، وإذا كان لجيناتها الشكل «ز ز» فانها تكون بيضة تحمل النوع «ز» فقط من الجينات. أما إذا كانت جينات الأم شكلها «ب ز» فيمكن أن تنتج بيضا له جينات من نوع «ب»، «ز» بنسبة متساوية تقريبا. وتحدث مثل هذه الظاهرة أيضا عند تكوين خلية الحيوان المنوي.

ومن هذه الحقائق أصبح من السهل تحديد صفات الأبناء التي يمكن أن تنتج عن هذه الاتحادات المختلفة. ويمثل الجدول الآتي بعض هذه الاحتمالات:

الأم	الأب	الأبناء
ب ب (بني)	ب ب (بني)	الكل ب ب (بني)
ب ز (بني)	ب ز (بني)	$\frac{1}{4}$ ب ب (بني)
		$\frac{1}{2}$ ب ز (بني)
		$\frac{1}{4}$ ز ز (أزرق)
ب ب (بني)	ز ز (أزرق)	الكل ب ز (بني)
ب ز (بني)	ز ز (أزرق)	$\frac{1}{2}$ ب ز (بني)
		$\frac{1}{2}$ ز ز (أزرق)
ز ز (أزرق)	ز ز (أزرق)	الكل ز ز (أزرق)

ويبين لنا الجدول أنه من المحتمل أن يكون لبعض الآباء والأمهات ذوي العيون البنية أطفال زرق العيون، ولكن الآباء والأمهات ذوي العيون الزرق لا ينجبون أطفالا

عيونهم بنية اللون.

ومن المحتمل أن تشذ بعض الحالات عن هذا القانون: أولا: لأن وراثة لون العينين في الإنسان لم تبحث جيدا حتى الآن، ربما لوجود جينات أخرى، إلى جانب تلك التي استعملت كمثل في ألوان العينين، فإذا أدخلنا هذه الجينات الأخرى في الاعتبار، فإن الآباء والآمهات ذوي العيون الزرق قد يكون لهم أطفال لهم عيون بنية، والعامل الثاني الذي قد يؤدي إلى ظهور استثناءات في هذا الشأن– هو أن الأشخاص ذوي العيون البنية الذين يحملون جينات لها الشكل «ب ز» ربما تكون عيونهم «فاتحة» جدا حتى أن محدود الخبرة قد يتصورها زرقاء. أما إذا كان لكل من الأب والأم جينات «ب ز» فمن المحتمل بالطبع أن يكون لهم طفل «ب ب» بعين بنية «غامقة».

والشعر المجعد يعتبر مثلا آخر للصفات التي تورث في الإنسان. فالشعر المجعد العالدي الذي يكثر عادة لدى الأشخاص ذوي الأصل الأوربي، ربما كان هو الصفة المتغلبة على الشعر المستقيم. ولهذا فان الآباء والأمهات ذوي الشعر المجعد، ربما يكون لهم أطفال بشعر مستقيم، ولكن الآباء والأمهات ذوي الشعر المستقيم لا يكون لهم عادة أطفال بشعر مجعد. وفي هذا المثل أيضاً تدخل جينات أخرى مما يجعل القوانين البسيطة المبنية على تفسير جين واحد غير صحيحة دائما.

وليس للون العينين أو نوع الشعر أثر كبير على حياة الإنسان، ولكن كثيرا من الجينات الأخرى تحمل صفات لها معنى أعمق. كأن يحمل أحد هذه الجينات مثلا مرضا وراثيا نادرا تنحصر أعراضه الرئيسية في أن يتحول البول إلى اللون الأسود إذا ما تعرض للهواء. وقد عرف هذا المرض منذ حوالي ٣٠٠ سنة، وينتج عن نقص موروث في عملية التمثيل الغذائي كما عرفه الطبيب الأنجليزي وعالم الكيمياء الحيوية السير أرشيبولد جارود. وقد توصل عالم كيميائي حيوي ألماني يدعي بوديكر سنة ١٨٥٩ إلى التفسير الكيميائي لهذا المرض، فبين أن اسوداد البول تسببه مادة كيميائية خاصة تسمى «ألكبتان» وقد عرفت بعد ذلك بحمض ٢، ٥ ثنائي هيدروكسي فينيل أستك ويسمى المرض بالألكابتنوريا ومعناه الألكبتان في البول.

وينشأ مرض «الألكابتنوريا» من نقص تركيبي في الجينات ويتبع قوانين الوراثة المتغلبة بشكل واضح، كما يحدث في توارث العيون الزرق، ولكن مثل هذا الجين في هذه الحالة أقل وجودا في الإنسان عن الجين ذي الصفة غير المتغلبة في وراثة لون العينين.

وظهور الألكبتان في البول ينتج عن عدم قدرة الجسم على أكسدة هذه المادة، إذ أنه يتأكسد بمساعدة أنزيم خاص إلى ثنائي أكسيد تاكربون والماء، وهذا الأنزيم لا يزجد في جسم المرضى بهذا المرض.

ولمرض الألكابتنوريا أهمية خاصة بالنسبة لعلم الكيمياء الحيوية ولعلم الوراثة، فقد نصل عن طريقه إلى وظيفة الجينات وكيفية حدوثها. فالأفراد الذين يحملون جينات ذات الصفة غير المتغلبة لا يستطيعون تكوين هذا الأنزيم فتتجمع مادة الألكبتان وتفرز في البول. ومن هذا يظهر بوضوح أهمية هذا الجين في صنع هذا الأنزيم الخاص.

وليس بين الكائنات الحية من هو أصعب من الأنسان لدراسة الجينات عليه– فدورة حياته طويلة، وعدد صغاره قليل، واختياره لجنسه الآخر لا يمكن وضعه تحت رغبة عالم الوراثة، وعلى هذا فكل ما تعلمناه عن الجينات جاء من دؤاسة كائنات مثل فاصوليا الحدائق ونبات الذرة الهندي وحشرة الفاكهة Drosophila دورسوفيلا.

ويظهر من دراسة هذه النباتات وغيرها من الكائنات الحية النباتية والحيوانية، أن الجينات كثيرا ما تكون مسئولة عن تفاعلات كيميائية معينة. ومن المتفق عليه أنها تعمل في كثير، أو في كل الحالات كجزئيات أساسية تنسخ عليها الأنزيمات.

وقد أمكن فصل كثير من الأنزيمات في حالة بلورية نقية، ووجد أنها أما أن تكون بروتينات خالصة، وأما أن يكون البروتين الجزء الأساسي فيها.

ويفهم مما ذكرناه أن العلاقة بين الجينات والأنزيمات تنحصر في أن تعمل الجينات كنموذج تنسج عليه الأنزيمات المختلفة. ويزيد هذا الفرض قوة أن الجينات تتحكم في تكوين البروتينات الأخرى التي ليس لها علاقة بالأنزيمات.

فمثلا يحتوي دم الأصحاء على بروتين خاص يدخل كعنصر أساسي في عملية تجلط الدم، ولكنه ينقص في بعض الأفراد الذين يعرفون بالنازفين أو مرضى الهيموفيليا، لأنهم يختلفون عن الأصحاء في أحد الجينات التي يقال: أنه ضروري لصنع هذا البروتين. ومرض الهيموفيليا لا يظهر إلا في الذكور لأنه يورث عن طريق كروموسومات «س» التي تحدد نوع الجنس، ويقال عن هذا المرض: أنه مرتبط بالجنس.

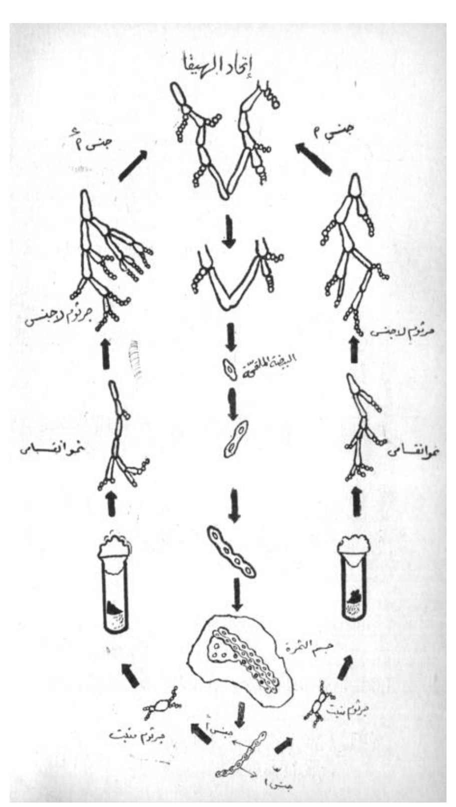
والجينات التي تتحكم في أنواع الدم في الإنسان والحيوانات الأخرى تسيطر على انتاج **antigen** وهي جزيئات كبيرة تكتسب قدراتها من شكلها الخاص الذي يتشكل من الجينات، ولها القدرة على تكوين الأجسام المضادة.

وقد تحققنا من الفرض الذي يقول بأن الجينات هي المسئولة عن صنع هذه الجزيئات البروتينية العملاقة بتجارب أجريت على الفطر الأحمر «النيوروسبورا». ولهذا الفطر ميزات كثيرة إذا درسنا عليه وظائف الجينات، فدورة حياته قصيرة (وتبلغ ١٠ أيام بين كل جيل جرثومي جنسي) ويتكاثر بنشاط– ذاتيا– عن طريق جراثيمه، والتي تؤدي إلى أن أي جزء منه يمكن أن يتكاثر إلى الملايين في أيام قليلة دون أي تغيير وراثي. وكل نويات الخلايا التي تحمل الجينات في هذا الفطر تحمل مجموعة واحدة من الجينات، بعكس الإنسان والحيوانات الأخرى التي تحمل مجموعتين من هذه الجينات. وهذا يعني أنه لن تختفي الجينات ذات الصفة غير المسيطرة بالنسبة للجينات ذات الصفة المسيطرة.

وفي الطور الجنسي لهذا الفطر يحدث اتحاد بين فطرين يمثل كل منهما أحد الجنسين، بطريقة يمكن مقارنتها بذلك الالتحام الذي يتم بين البيضة وخلية الحيوان المنوي في الإنسان. وتأخذ النواة الناتجة من هذا الالتحام في الانقسام مرتين تختزل في أثنائهما الجينات إلى النصف، لتعود إلى ما كانت عليه قبل الالتحام. وينتج من انقسام هذه النواة أربع نويات في صورة صف واحد دخل محفظة البذرة. ثم تنقسم كل منها لتنتج صفين من النويات المتشابهة وراثيا، ويتوسط كلا من هذه النويات الثماني جرثوم

جنسي، يبلغ طول كل منها □/□□□ من البوصة، ويمثل الشكل (صفحة ٢٢٨) دورة حياة النيوروسبورا.

ويمكن للباحث العادي فصل هذه الجراثيم الجنسية تحت المجهر بسهولة، يمكن زرع كل منها على حدة في أنبوبة اختبار. فإذا اختلفت الجرثومتان المتزاوجتان في أي حين من الجينات فان أربعة منها ستحمل صفات أحد نوعي هذا الجين، وتحمل الأربعة الأخرى النوع الآخر, فإذا ما تزاوج نوع أصفر من نوع أبيض فان أربعة جراثيم تعطي فطرا أصفر وتعطى الأربعة الأخرى فطرا أبيض.



(تبدأ دورة حياة النيوروسبورا في قمة هذا الشكل، وذلك باتحاد الهيفا ..كما يحدث في الجماع في الحيوانات الراقية) حيث تتكون بيضة ملقحة محتوية على مجموعتين من الجينات ثم تنقسم البيضة الملحقة عدة مرات معطية أخيرا أربعة أزواج من النوبات

حيث تتشابه جينات كل زوج منها، وتتجمع هذه في جسم ثمرة– ويمكن عند هذه الفترة من الانقسام، فصل الجراثيم الجنسية في كيسها وزرعها في أنابيب اختبار. وهنا يمكن عمل تغيرات جينية وذلك بتغيير مكونات المحلول الذي ينمو عليه الجرثوم، وينقسم أيضا النيوروسبورا انقساما لا جنسيا، حيث ينمو الفطر بدون تغير في الجينات).

وفطر الخبز الأحمر هو الفطر المثالي للاختبارات الكيميائية فيمكن زرعه في مزرعة نقية تتكون من مواد كيميائية معروفة، مثل النترات والكبريتان والفوسفات وغيرها من المواد غير العضوية، والسكر والبيوتين ومجموعة فيتامين ب. من هذه المواد البسيطة التركيب يستخلص الفطر كل مكوناته البروتوبلازمية، وهذه تتضمن حوالي ٢٠ حمضا أمينيا لبناء البروتينات، وتسعة فيتامينات من مجموعة ب الذائبة في الماء، وكثير من المركبات العضوية التي لها أهمية كبيرة في النشاط الحيوي.

وقد يظهر لأول وهلة للمتهمين بوظائف الجينات في الإنسان أن هناك فرقا كبيرا بين الإنسان والفطر. ولكن هذا الفرق يتلاشى إذا علمنا أن عمليات التمثيل الغذائي الأساسية للبرةتوبلازم لا تختلف كثيرا حيثما وجدت هذه المادة الحيوية.

ولما كان الفطر يبني البروتوبلازم بتفاعل هذه المواد الكيميائية، وتسير هذه التفاعلات بمساعدة الأنزيمات، وإذا علمنا أن هذه الأنزيمات ذات علاقة وثيقة وتشتق من الجينات، فإنه من الممكن إنتاج أنواع من الفطر يظهر عليها نقص ما في عملية التمثيل الغذائي عن طريق إحداث تغيير في هذه الجينات. وبمعنى آخر يمكننا معرفة وظائف الجينات إذا جربت، كل واحد منها على حدة، وفحصنا النقص الناتج في الفطر الجديد.

وتظهر بساطة هذه الطريقة إذا ما وضحناها بالمثل التالي: لو نظرنا إلى كيفية تكوين السيارات في مصانعها، لوجدنا أنها لا تختلف كثيرا عن عملية تكوين الكائن الحي، حيث يمثل عمال المصنع الجينات المختلفة فلكل وظيفته الخاصة. فإذا أردنا أن

نعرف وظيفة كل عامل في هذا المصنع فلن يفيدنا أن ننظر إلى المصنع من الخارج، أو ندقق الفحص في السيارات المصنوعة، أما لو أبدلنا أحد العمال بعامل آخر لا يتفق وهذه الصنعة، وفحصنا السيارات الناتجة لوجدنا أثر هذا الأبدال واضحا في نقص معين في السيارات، كان يقوم به بلا شك العامل الأصلي. وعلى هذا النمط يمكننا معرفة وظائف الجينات بأبدالها واحدة بعد الأخرى بجينات متحورة.

من المعروف أنه قد تحدث تغيرات وتحورات في الجينات **mutation** تلقائيا ببطء. ولكن يمكن أن تزيد سرعة هذه التغيرات حوالي مائة مرة أو أكثر بوساطة عوامل تسمى العوامل المحورة (صوانع الطفرة) وتتضمن هذه العوامل أشعي (x) والنيوترونات وغيرها من الأشعاعات المؤينة كالأشعاع فوق البنفسجي وغاز المستنقعات. وتقوم الاشعاعات بأحداث التحور باصطدامها بالجينات اصطدامات تؤدي إلى تأينات داخلية أو تغيرات في الروابط الكيميائية.

ويمكننا الآن أن نختبر قدرة الجينات على صنع الأنزيمات والتحكم في عملية التمثيل الغذائي بتجربة على فطر الخبز، فتعرض الجراثيم غير الجنسية «اللاجنسية» لأشعة (x) أو إلى أي عامل آخر من العوامل المحورة، وبعد أن يمر الفطر في دورة حياته الجنسية نلاحظ وجود الجينات المحورة في الجراثيم الجنسية الناتجة، ثم تتركها تنمو كل على انفراد، ونراقب قدرات الفطر الناتج على بناء جزيئاته التي تحتاج إليها وقد وجد باستخدام التعريض الطويل للأشعة فوق البنفسجية، أن حوالي اثنين من الجراثيم الجنسية في كل مائة يحملان أشكالا محورة من الجينات. فمثلا وجد أن هناك نوعا خاصا من فطر النيوروسبورا لا يمكن أن يصنع أحد أفراد فيتامين ب وهو حمض الباثتوثنيك، وحتى ينمو الفطر الناتج نموا طبيعيا، لا بد من أن تمده بهذا الفيتامين كما هي الحال في الإنسان.

كيف تتحقق إذن من أن الجينات المحورة، هي السبب في عدم قدرة الفطر على انتاج الفيتامين؟ والطريقة الوحيدة للإجابة عن هذا السؤال هي أن نثبت أن عدم القدرة على صنع هذا الفيتامين يمكن أن تنتقل كوحدة وراثية عند التزواج.

وقد ثبت هذا فعلا، فالفطر الذي فقد قدرته على صنع الفيتامين، إذا تزاوج مع أحد أنواع الفطر من جنس آخر، فانه ينتج من وقت لآخر في حقائبه الجرثومية أربعة جراثيم تعطي أفرادا تشبه الفطر الأصلي، وأربعة أخرى تشبه الفطر الثاني (ذا الجين المحور)- أي أربعة من الأفراد الجديدة تستطيع صنع الفيتامين، وأربعة لا تستطيع، وبتكرار مثل هذه التجارب على الجينات الأخرى، في فطر الخبز، الجينات- فدورة حياته طويلة، وعدد صغاره قليل، واختياره وجد في كل التجارب التي درست بالتفصيل، أن كل جين يختص بأحد التفاعلات الكيميائية.

وقد خرجنا من هذه الدراسات التي أجريت على فطر الخبز بصحة الفرض الذي يقول بأن كل جين يتحكم في انتاج أحد البروتينات.

ولكننا لم نثبتها اثباتا كافيا لاقناع كل البيولوجيين، إذ أن الاحتمالُ مازال قائما بأن بعض هذه الجينات قد يكون لها عدة وظائف أخرى لا يمكن معرفتها بمثل هذه التجارب.

ومازالت عملية صنع البروتينات في الكائنات الحية من أعقد مشكلات علم الحياة التي لم تحل بعد، وحتى نقطع شوطا كبيرا في حل هذه المشكلة لن تتمكن من فهم عملية النمو طبيعية كانت أو غير طبيعية فهما عميقا.

هل تحتوي كل الكائنات الحية على جينات. وجدت الجينات في كل الكائنات التي رسمها علماء الوراثة والتي تتكاثر تكاثرا جنسيا. وحتى وقتنا هذا لا توجد طريقة بسيطة تثبت لنا أن البكتيريا أو الفيروسات تحتوي على أي جينات. وكل الأبحاث الجديدة لا تدل إلا على أن بعض البكتيريا وبعض فيروسات البكتيريا تقوم بتكاثر جنسي تظهر فيه وحدات وراثية كالجينات.

وقد عرضت البكتيريا لبعض عوامل محورة فظهرت أنواع محورة بطريقة تشبه إلى حد كبير تلكالتي تحدث في فطر الخبز، وهذا التشابه يكاد يؤكد أن جينات البكتيريا تماثل في وظيفتها جينات الفطر.

ويتضح مما سبق أن الجينات هي وحدات الوراثة في الفيروسات، والكائنات وحيدة الخلية، وكثير من النباتات والحيوانات كثيرة الخلايا ويحتمل أن تكون بروتينات نووية nucleoprotein تلك المركبات العضوية المعقدة التي تعمل كنموذج تنسخ منه الجينات الجديدة، ومنها تنتج البروتينات العادية من التي لها أشكال تشابه نموذج الجينات.

ومن المحتمل أن الحياة بدأت على ظهر الأرض في صورة تشبه الجين ذا القدرة على التكاثر والتحور. وتبعا لقانون البقاء للأصلح والاتحادات المختلفة بين هذه الوحدات ظهرت تدريجيا الصور المعقدة من الحياة.

الأنزيمات

جون فايفر

يستهلك جسم الإنسان حوالي ثلاثة ملايين كرة دموية حمراء في كل ثانية، وهذا يعني أن ثلاثة ملايين أخرى تتكون في نفس الوقت، إذ أن الجسم يحاول دائما أن يبقى عدد هذه الكرات فيه ثابتا. وبذلك تبدل جميع هذه الكرات بأخرى مرة كل ثلاثة أشهر، أما بقية أجزاء بلازما الدم فتتبدل في وقت أقصر، ويحدث مثل هذا التغيير السريع في الخلايا الحيوانية. وقد نظن أن أماكن ترسيب الدهون في الحيوانات ليست إلا مخازن للغذاء، ولكن الحقيقة هي أن هذه الأماكن تشبه المحلات التجارية في زحمة أعياد الميلاد، فنشاطها الكيميائي الحيوي لا ينقطع أبدا. وهي تحلل المواد وتصنعها في نفس الوقت بسرعة متساوية تقريبا، ولا تمر إلا أشهر قليلة حتى تكون الدهون فيها قد تغيرت بدهون جديدة.

ويحدث مثل هذا في الخلايا الضامة والروابط وجدر الأوعية الدموية والعضلات، وحتى العظام تحدث فيها هذه التغيرات السريعة في أثناء دورة التمثيل الغذائي التي لا تنقطع.

وتتابع عمليات التحليل والتركيب في جسم الإنسان بسرعة غريبة. فمعظم التفاعلات الكيميائية الحيوية في المعمل لا تسير من تلقاء نفسها وتسير سيرا بطيئا لا يفي بمطالب عملية التمثيل. فالبروتينات على العموم مثلا لا تتحلل إلى الأحماض الأمينية إلا إذا غليت لمدة ٢٤ ساعة في محلول ٢٠٪ من حمض الأدركلوريك ولكن الجسم يقوم بمثل هذا التفاعل في أربع ساعات أو أقل ولا يحتاج في ذلك إلى الأحماض القوية ولا لدرجات الحرارة المرتفعة.

لذا لا يمكن أن تستمر الحياة إلا بظاهرة العوامل المساعدة، تلك الظاهرة التي تقوم بها مواد معينة بزيادة سرعة التفاعلات الكيميائية بضعة آلاف المرات دون أن تعاني أي تغيير في تركيبها. وتستخدم العوامل المساعدة في الفروع المختلفة للكيمياء الصناعية لصناعة البترول وصناعة النوشادر وغيرها من العمليات الأخرى. كما تستخدم في الكائنات الحية في بناء الأنسجة وتحليل المواد الغذائية إلى مواد بسيطة، وتعرف العوامل المساعدة التي تستعملها الكائنات الحية بالعوامل المساعدة الحيوية "أو الأنزيمات" وقد استطاع علم الحياة أن يقدم لنا حتى الآن معلومات وافية عن ماهية الأنزيمات وكيفية عملها.

ولا تتأثر الأنزيمات بالتفاعلات التي تساعد علي سيرها، كما أنها لا تتأثر إلا بالتلف الزمني والسموم، وتستطيع أن تعمل بكميات صغيرة جدا. وقد وجد أن الخلية الواحدة تحتوي على ١٠٠٠٠٠ جزئ أنزيمي، لتساعد على سير تفاعلاتها الكيميائية التي يتراوح عددها من ١٠٠٠ إلى ٢٠٠٠ تفاعل، بمتوسط من ٥٠– ١٠٠ جزئ أنزيمي للتفاعل الواحد. فجزئ واحد من الأنزيم الذي يحلل فوق أكسيد الأيدروجين إلى الماء والأكسجين (ويسبب ظهور الزبد الأبيض عندما يستعمل هذا المحلول كمطهر) يستطيع أن يحول أكثر من ٥ ملايين جزئ في الدقيقة. وتستطيع أنزيمات أخرى أن تحول من ١٠٠٠ إلى أكثر من ٥٠٠٠٠٠ جزئ في نفس الوقت.

وقد دل مختلف الأبحاث على أن الأنزيمات تلعب دورا رئيسيا في كل العمليات الحيوية، فهي الحجر الأساسي التي تقوم عليه تفاعلات التمثيل الضوئي حيث يبني النبات خلاياه من الماء، وثنائي أكسيد الكربون، وضوء الشمس. وهي التي تلون الأوراق باللون الأحمر ثم تحوله إلى اللون الأصفر قبل سقوطها، وتحول السطح المقطوع من التفاح أو البطاطس إلى اللون البني، وتحول عصير العنب إلى النبيذ والحبوب إلى الويسكي.

وقد بذل العلماء مجهوداتهم لعدة قرون حتى استطاعوا أن يزيلوا هذا الغموض الذي يحيط بالتفاعلات الأنزيمية، ويصلوا إلى بعض القوانين الأساسية لتفاعلات

الأنزيمات، ولكن مازلنا حتى الآن نقرأ في الأبحاث التي تنشر كل شهر حقائق جديدة، قد تغير كثيرا من الأفكار التي اقتنعنا بها فترة طويلة.

وقد فصل العالم جميس سمنر، من جامعة كورنل، أول أنزيم حالة نقية، وتحقق منه كيميائيا، وكان ذلك بعد أن أمضى تسع سنوات في محاولة فصل أنزيم من بعض حبوب الفول، وهو أنزيم ليورييز الذي يحلل أحد المواد الاخراجية وهي البولينا. وقد سمي أنزيم اليورييز. وكانت المشكلة هي أن يجد مذيبا مناسبا لإذابة الأنزيم فقط، تاركا غيره من المواد الكيميائية الأخرى ثم مادة أخرى لترسيب الأنزيم من هذا المذيب.

وكانت الخطوات الأخيرة لفصل هذا الأنزيم، كما قال سمنر نفسه، غاية في البساطة. فقد قام في أحد أيام شهر إبريل سنة ١٩٢٦ بخلط كمية من حبوب الفول بالأسيتون (وهو مذيب اقترحه أستاذه للكيمياء الحيوية في هافارد) وترك المحلول ليترشح طول الليل.

وفي الصباح التالي فحص نقطة من الراشح تحت المجهر فرأى شيئا لم يره من قبل أي بللورات ثمانية متناهية في الصغر. وفصل هذه البللورات من المحلول بالقوة الطاردة المركزية، ثم قام بتحضير محلول مركز منها، وإضافة على البولينا فحللها إلى مكوناتها. وقد اتصل سمنر في المساء بزوجته تليفونيا، وقال لها جملة نال عليها جائزة نوبل بعد ٢١ سنة، وهذه الجملة هي "لقد فصلت أول أنزيم". وقد ظهر أن أنزيم اليورييز بروتين وكزنه الجزيئي ٤٨٣٠٠٠ (كل وحدة من وحدات هذا الوزن تساوي وزن ذرة واحدة من الأيدروجين).

وقد أصبح من السهل فصل هذا الأنزيم بعد أن عرفت الطريقة وليس من الطبيعي أن تصلح مثلا طريقة واحدة لفصل كل الأنزيمات فلتنقيه أنزيم البيسن اتبع جون نور ثروب، من معهد روكفلر للأبحاث الطبية في برينكاتون، طريقة أكثر تعقيدا، وقد استحق هو وزميله ستانلي من نفس المعهد أن يقاسما سمنر جائزة نوبل سنة ١٩٤٧.

وقد أعلن طريقته في سنة ١٩٣٠ أي بعد حوالي قرن من اكتشاف الببسين في العصير المعدى، وقد كان ترسيب الأنزيم دون أن يفقد حيويته أحد مشكلات نورثروب الأساسية– فهو بروتين (كبقية الأنزيمان التي فصلت حتى الآن وهي أربعون)– والبروتينات ذات تركيب معقد يحفظ ثباتها اتزان كهربي سريع التأثر بالوسط الكيميائي المحيط، فقد تكفي تغيرات خفيفة في الوسط لتحويلها إلى كتلة متشابكة لا يمكن اعادتها إلى الوضع الأصلي. وهذا ما يحدث مثلا عند غلى البيض إذ يتحول إل كتلة بيضاء صلبة. ولتلافي هذا التغير في طبيعة البروتينات استحدث نورثروب طريقة جديدة للترسيب، مازالت تستخدم إلى الآن في تحضير بللورات عدد من الأنزيمات.

وتعتبر عملية التخمر الذي ينتج عنها الكحول أحد الأمثلة التي تظهر القدرة العجيبة للأنزيمات في السيطرة على التفاعلات الكيميائية. فقد كان يظن في أوائل أيام دراسة الأنزيمات أن هذا التفاعل يسير بمساعدة أنزيم الزيميز فقط، ومثل التفاعل بالمعادلة البسيطة الآتية.

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow zymase\ 2\ CO_2 + 2\ C_2H_5OH$$

وفي هذه المعادلة يتحول جزئ واحد من الجلوكوز بساعدة أنزيم الزيميز إلى جزيئين من ثنائي أكسيد الكربون وجزيئين من الكحول.

ولو حسبنا كمية الطاقة التي تنتج عن هذه العملية على اعتبار أنها تتكون من خطوة واحدة لوجدنا أن هذه الطاقة ستظهر في شكل عديم الفائدة، ولكن الحقيقة أن هذه العملية تتضمن على الأقل اثنى عشر أنزيما، وقد بذل مئات من العلماء في أكثر من ١٢ دولة مجهودات جبارة، حتى وصلوا إلى خطوات هذه العملية.

ويتركب جزئ الجلوكوز من ذرات تحيط بحلقة مكونة من ست ذرات من الكربون. ومن الصعب كسر هذه الحلقة في مرة واحدة، فلابد أن تعدل أولا إلى شكل يسهل كسره. وتقوم ثلاثة أنزيمات بإجراء هذا التعديل، ثم يتبعها تسعة أنزيمات أخرى ينتهي فعلها بتكوين الكحول. وليس هذا إلا شرحا بسيطا لعملية معقدة التفاصيل.

وتعتبر عملية كسر سلسلة الكربون من العمليات ذات الأهمية في حلقات الكيمياء الحيوية. وتتطلب كمية كبيرة من الطاقة الكيميائية، ومصدر هذه الطاقة هو مادة الأدينوزين ثلاثي الفوسفات **ATP** وتخرج الطاقة عندئذ إحدى مجموعتي الفوسفات التي تظهر في طرف الشكل البسيط لهذه المادة: **Adenosine – P. P. P.**

إذ أن مجموعتي الفوسفات الطرفية تتصل بروابط كيميائية تخرج عند انفصالها حوالي ١٢٠٠٠ سعر، أما المجموعة الثالثة فلا تعطى سوى ٢٠٠٠ سعر. ويمكننا أن نشبه هذه الروابط بقطعة قوية من الأسمنت "الإلكتروني" تربط مجموعة الفوسفات. وفي الروابط تتذبذب الكترونات بسرعة كبيرة فتسبب زيادة النشاط الكيميائي للمجموعات الفوسفات. وتظهر أهمية مادة **ATP** في أن الأنزيمات لها القدرة على نقل مجموعاتها الفوسفاتية إلى مواد أخرى ومعها ما تختزنه روابطها من طاقة.

وتأتي الطاقة اللازمة لبداية عمليات التخمر نتيجة لنقل مجموعات الفوسفات ذات الطاقة العالية من مادة **ATP** وربطها بمادة الجلوكوز. ويباشر هذه الخطوة أنزيم الهكسو كينيز منتجا مادة **ADP** وفوسفات الجلوكوز، التي تتحول بعد ذلك بفعل أنزيم آخر إلى أحادي فوسفات الفراكتوز. وهذا بدوره يتحول إلى ثنائي فوسفات الفراكتوز بتحويل جزء آخر من مادة **ATP** إلى مادة **ADP**. وإلى هنا تحول هذه الخطوات جزيئين من مادة **ATP** إلى مادة **ADP** ولابد لنا من أعادة تكوين مادة **ATP** إلا أصبحت عملية التخمر عرضة للتوقف إذا ما استهلكت الكمية الموجودة من مادة **ATP**. ويتم ذلك في خطوات تالية عندما تنقسم السلسلة الكربونية للجلوكوز إلى جزيئين، وتلتصق مجموعتان من الفوسفات غير العضوي العادي بهما. وتعتبر الفوسفات غير العضوية العادية من المركبات التي تحتوي على طقة صغيرة. ولكنها تتجول إلى فوسفات ذات طاقة عالية عندما يقوم أنزيم ثلاثي الفوسفات النازع للأيدروجين بنزع ذرتين من الأيدروجين من كل من هذين المركبين.

وتنتقل بعد ذلك هذه المجموعات الفوسفاتية ذات الطاقة العالية بمساعدة أحد

الأنزيمات إلى مادة ADP وتحولها حينئذ إلى مادة ATP مرة أخرى. وإلى هنا تتساوى الطاقة التي استهلكتها العملية مع الطاقة التي أنتجتها. أما في الخطوات التالية فتتكون مجموعتان أخريان من مجموعات الفوسفات ذات الطاقة العالية التي تنتقل إلى مجموعات أخرى من مادة ADP لتحولها إلى مادة ATP. وهذه الكمية الجديدة من الطاقة يمكن استخدامها لاسراع عملية التخمر، أو في عمليات النمو أو التكاثر في خلايا الخميرة.

وتبقى نقطة أخيرة، وهي مصير ذرتي الأيدروجين اللتين انتزعهما الأنزيم في أثناء تكوين مجموعات الفوسفات ذات الروابط العالية. هنا يلتقط هذه الذرات حامل خاص للأيدروجين يسمى "كونزيم رقم واحد" (Coenzymel) ويتحول بذلك إلى جزئ مختزل خامل، ولا يمكنه أن يباشر عملية حمل الأيدروجين مرة أخرى. وبذلك تتعرض العملية للوقوف تماما إذا ما استهلك هذه الأنزيم المساعد. ولذا لابد له من أن يدخل في تفاعل ما ليتخلص من الأيدروجين حتى يباشر عمله من جديد وتستمر العملية. وتأتي هذه الفرصة بعد الخطوة الأخيرة من العملية إذ يتحول حمض البيروفيك إلى ثنائي أكسيد الكربون الذي يتصاعد كغاز، ومادة الأسيتالدهيد التي تأخذ أيدروجينن هذا الأنزيم المساعد مكونة الكحول.

وإلى هنا تتم عملية التخمر ويتكون الكحول، وقد وجد بالمصادفة أن البكتريا تنتججزءا من زيت الفيوزل مع كل ٩٩ جزءا من الكحول، وهذا الزيت هو خليط من الكحولات العالية، ويسبب المذاق الخاص بالكحول ومنتجاته.

وبينما كان بعض البيولوجيين يدرسون الخطوات المختلفة لعملية التخمر، كان آخرون يدرسون بيولوجيا العضلات. وبالمقارنة بدأ الفريقان تدريجيا يدركان أن العمليتين متشابهتان إلى حد كبير، وأن العملية التي تحول الشعير إلى البيرة، هي في الحقيقة نفس العملية التي تولد الطاقة في الإنسان، إذ أن كلتيهما تتكون من ١٤ خطوة، ولا تختلفان إلا في ثلاث منها فقط: ففي العضلات يختزل حمض البيروفيك إلى حمض اللاكتيك بوساطة أيدروجين الأنزيم المساعد. ويتسرب حمض اللاكتيك إلى الكبد حيث يتحول إلى نشا حيواني (جليكوجين)– ذلك بأن يمر في اتجاه عكسي للخطوات السبقة، إذ أن

لعضلات لا يمكنها استهلاك حمض اللاكتيك. والاختلاف الثاني هو أن حرق الجليكوجين في العضلات يكون ثلاثة جزيئات من مادة **ATP** (بدلا من اثنين من الجلوكوز في عملية التخمر) وعلى هذا فتقوم هذه العملية بتوليد الطاقة بقدرة ميكانيكية قد تزيد على ٦٠% بينما تولد الطاقة في التوربينات الحديثة بقدرة ميكانيكية قدرها ٥٠%.

ولا ينحصر دور مادة **ATP** في توليد الطاقة لانقباض العضلات بل تلعب دورا هاما في تشغيل الجهاز العصبي، فيه تكون الخلية العصبية مادتها الأساسية الأسيتيل كولين بمساعدة أنزيم الكولين استيليز لمجموعة الأنزيمات اللازمة لحركة الكائنات وحيدة الخلية على الأقل في حالة تحرك الحيوان المنوي نحو البيضة غير الملقحة.

وتسير معظم عمليات الكيمياء الحيوية في وسط مائي، حيث تتحرك الجزيئات الحيوية حركات حرارية مستمرة. وتحدث التفاعلات المختلفة بينها نتيجة لتصادم هذه الجزيئات. واحتمال التصادم في المحاليل التي لا تحتوي على الأنزيمات لا يزيد على واحد في الترليون. أما إذا وجد الأنزيم المناسب فيزداد هذا الاحتمال، وتزيد تبعا لذلك سرعة التفاعل. كيف تفسر زيادة احتمال التصادم في وجود الأنزيم على أساس كيميائي؟.

لابد لتفسير هذه الظاهرة من أن يتفق مع لحقائق العملية. وقد ثبت فعلا أن لكل أنزيم جزيئات خاصة يؤثر عليها، وهذا يعني أن مثل هذا التفاعل يتضمن عملية اختيار كيميائي. وقد وجد أن الأنزيمات تظهر درجة كبيرة من التخصص وتزيد من تصادم جزيئات معينة في مركبات خاصة، وتسمى هذه المركبات بمواد التفاعل.

والحد الأقصى لدرجة تخصص الأنزيمات قد يصل إلى أن يقتصر عملها على جزيئات معينة تحتوي على عدد معين من الذرات ذات تركيب فراغي خاص، وتسمى المواد التي لا تختلف إلا في التركيب الفراغي "بالمتشابهات". فأنزيم العضلات النازع للأيدروجين مثلا يؤثر على حمض اللاكتيك نوع "**L**" وليس له أي أثر على حمض اللاكتيك من نوع "**D**". وتفوق بعض الأنزيمات المثل السابق في دقة التخصص

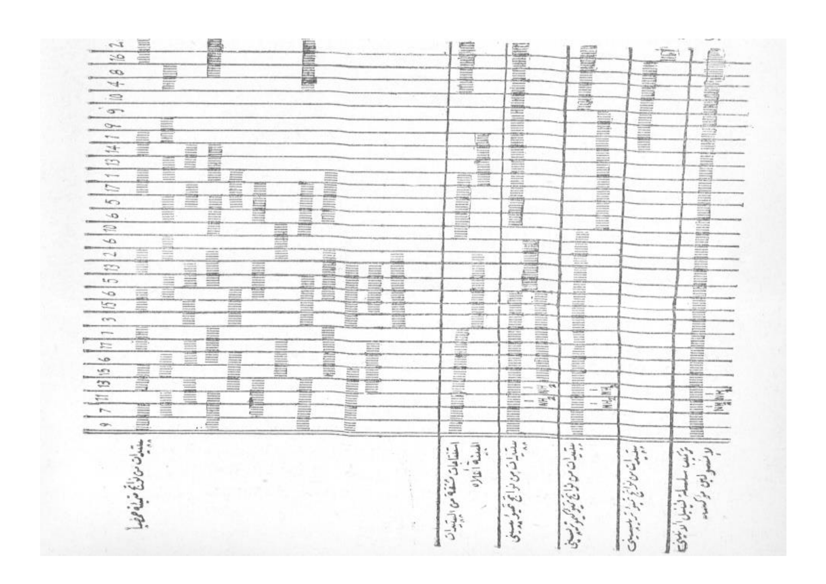
كالأنزيمات المحللة بالماء مثلا التي تساعد على سير تفاعلات كالتفاعل الآتي:–

س – ص + د$_{٢}$ أ ← س أ د + ص د

حيث س – ص جزئ يتكون من جزيئين متصلين برابط كيميائي خاص. وقد تقوم بعض الأنزيمات بفك (بتحلل) أي مركب يتصل جزيئية برابطة خاصة دون اعتبار لتركيب جزيئة المترابطين. وتشترط أنزيمات أخرى وجود نوع معين من الرابطة، وتركيب خاص لأحد الجزيئين. وأكثر الأنزيمات إظهارا للتخصص هي التي تشترط في مادتها نوع الرابطة، وأن يكون تركيب كل من الجزيئين من نوع خاص.

ويمكن أن نضرب مثلا لما يعنيه التخصص بالضبط، بظاهرة الاثباط الانتقائي. فأنزيم حمض السكسنيك النازع للأيدروجين، لا يقوم بنزع جزئ الأيدروجين إلا من حمض السكسنيك. ولكن قدرته تقل كثيرا في وجود حمض المالونيك الذي يشبه حمض السكسنيك كثيرا في تركيبه، وتظهر التجارب أن حمض المالونيك ولو أنه لا يعاني أي تغير إلا أنه يشبك نفسه بسطح الأنزيم منافسا في ذلك حمض السكسنيك الذي كان يشبك نفسه بنفس هذه الأماكن النشطة من الأنزيم.

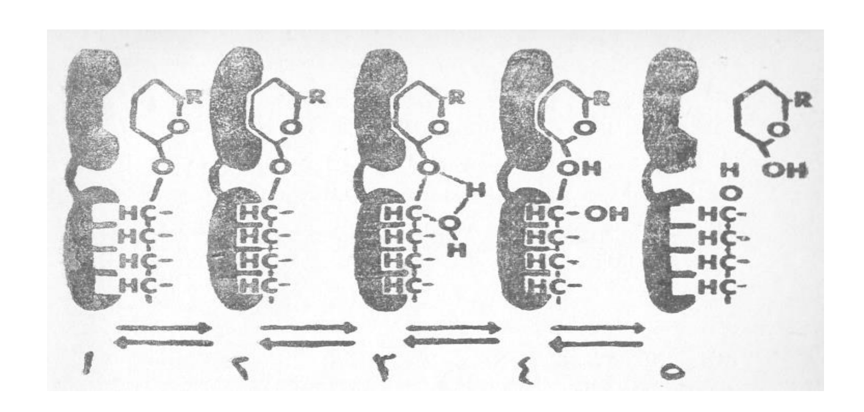
وقد ظهر التفسير بظاهرة التخصص في الأنزيمات من مثل هذه التجارب، ويعتبر علماء كيمياء البروتينات هذا التفسير بأنه نوع من الفلسفة، ولو أنهم يوافقون على أن مثل هذه الفلسفة قد تفيد كثيرا. فيمكن مثلا اعتبار جزئ الأنزيم أحد الأقفال، إذ أنه يحمل على سطحه حفرا ذات تجاويف خاصة، كما يمكنا أن نعتبر الجزئ الذي يتأثر به الأنزيم (حمض السكسنيك مثلا) كمفتاح لهذا القفل إذ أن ترتيب ذراته الفراغي يطابق تجاويف الحفر التي على جزئ البروتين.



تظهر نظرية القفل والمفتاح لماذا يختص فعل الأنزيم لمركب معين، وكيف يمكن اثباط عملها بوساطة مركبات مماثلة، فمثلا يناسب حمض الأستيك الأنزيم (السوداء) ولذا يحدث التفاعل. وإذا حل الفلور محل ذرة هيدروجين، مكونا أحادي فلورو أسيتات، فإن هذا المركب يتحد بالأنزيم وبذا يمنع اتحاد الأنزيم بحمض الأستيك. ولكن إذا حل الكلور محل ذرة الفلور (أحادي كلوروسيتات) فإن هذا المفتاح يكون ضعيفا بحيث لا يقبله الأنزيم– ولذا فإن هذا المركب لا يمنع اتحاد الأنزيم بحمض الأستيك.

1/مائة مليون ولما كان حمض المالونيك يشبه إلى درجة كبيرة حمض السكينيك فيمكننا اعتباره كمفتاح مشابه يستطيع أن يبقى داخل القفل، ولكنه لا يمكنه فتحه فيبقى مغلقا، ولذا يمنع حمض المالونيك سطح الأنزيم عن حمض السكسنيك ولكنه في نفس الوقت لا يتأثر بالأنزيم. وأوروع التجارب في هذا الصدد ما قام به بارون ومساعدوه من كلية شيكاغو، وتتضمن هذه التجربة ثلاثا من المواد المتشابهة، حمض الخليك وأحادي خلات الفلور، وأحادي خلات الكلور، والفرق الوحيد بين هذه المواد الثلاث هو أن إحدى ذرات الأيدروجين في حمض الأستيك تحل محلها ذرة الفور في أحادي خلات الفلور مرة وذرة الكلور في أحادي خلات الكلور مرة أخرى، والرابطة التي تربط هذه

الذرات الثلاث في كل جزئ تختلف في طولها. فطول الرابطة في حالة ذرة الأيدروجين ١.٠٩ وحدة أنجسترومية .



يمثل الرسم كيف يعمل الأنزيم. يحتوي الأنزيم (اللون الأسود) على جزيئين نشيطين يناسبان الجزئ الذي يؤثر عليه الأنزيم.

١- عندما يتحد الأنزيم بالجزيء.

٢- تؤثر الأجراء النشيطة على الجزيء.

٣، ٤- بحيث تشطره وتحطمه.

٥- إلى جزيئين، سكر وكحول في هذه الحالة.

$\frac{1}{762000000}$ ويساعد الأنزيم على أكسدة حمض الخليك (وهي إحدى عمليات التمثيل الغذائي للدهون). فإذا فرضنا ان سطحه يحتوى على حفر يستطيع الحمض أن يملأها فإن إضافة أحادي خلات الكلور إلى المحلول يوقف عملية الأكسدة تماما، وهذا يعني أن هذا المركب يناسب أيضا حفر الأنزيم، أما أحادي خلات الفلور فلا يظهر مثل هذا الاثباط، إذ أنه لا يناسبها، وهذا يعني أن هذا الفرق الطفيف في طول رابطة المركب الذي يحتوى على الكلور، وهذا المركب الفلوري الذي لا أثر له ، كافيا لمنع مناسبة المفتاح للقفل.

وتنطوي نظرية القفل والمفتاح للأنزيمات على عملية اتحاد بين الأنزيم والمواد التي تتأثر به، وهذا ما يقصده كثير من التجارب. وليس هذا فحسب بل استطاع بعض البيولوجيين أن يثبت هذا الاتحاد وقت حدوثه باستخدام السبكتروسكوب. وأول من حاول ذلك كان كيرت ستيرن منذ حوالي ١٢ سنة ثم تبعه آخرون من جامعة يال. وقد استخدم أنزيم الكاتاليز وأحد مشتقات فوق أكسيد الأيدروجين كمادة تتأثر بالأنزيم، حيث شاهد قبل التفاعل خطوط الطيف الضوئي لأنزيم الكاتاليز، وشاهد تغير الطيف في أثناء التفاعل إلى نوع آخر يمثل غالبا اتحاد الأنزيم بالمادة المتفاعلة. وبعد ذلك بقليل ظهر الطيف الخاص بأنزيم الكاتاليز مرة أخرى، مما يدل على أن الأنزيم قد أدى مهمته وانفصل مستعدا للاشتراك في تفاعل جديد.

ما السر إذن في هذا الاتحاد القصير المدى الذي يقوم بين الأنزيم والمواد المتأثرة به؟ ويعتمد الجواب عن هذا السؤال على بعض الحقائق التي ذكرناها سابقا، وهو أن التفاعل الكيميائي لا ينتج عن جميع التصادمات، ففي محلول لبروميد الايثيل وكبرتيد ثنائي الايثيل، حجمه ١٠٠ سم^{٣}، تبلغ عدد التصادمات في الثانية حوالي ١.٦ × ١٠^{٣٤} (١٦ مليون بليون بليون بليون) ولكن التفاعل الكيميائي لا ينتج إلا في أقل من بليون من كل بليون بليون تصادم. والسبب في قلة عدد التصادمات التي تؤدي إلى التفاعل الكيميائي، هو أن الجزيئات لها درجة كبيرة نسبيا من الثبات، وأن تصادمها قد لا يؤدي إلى كسرها كسرا كاملا لدخولها في التفاعل.

$\frac{1}{80000}$والأنزيمات لا تزيد من سرعة الجزيئات في المحاليل، ولا تزيد من عدد التصادمات ولمكنها تزيد عدد الصدمات التي تخلل التركيب الجزيئي للمواد المتفاعلة، مثلا في حالة أنزيم الكاتاليز يحدث الاتحاد ، وقد وجد أن الأنزيمات تغير بطريقة ما من التركيب الهندسي لجزيئات المواد المتفاعلة بحيث تحولها إلى مواد نشطة لها قابلية كبيرة على التفاعل. وقد أثبتت بعض التجارب أن هذا التنشيط يحدث في بعض الحالات عن طريق ابعاد الكترونات المادة المتفاعلة حيث تتحول جزيئاتها إلى أيونات مشحونة.

ولا يكفى أن يلتصق الجزيء الملائم بسطح الأنزيم لحدوث التفاعلل، كما هي الحال في أنزيم الببسين، ولكن بعض الأنزيمات يحتاج إلى عامل آخر، وهو مادة غير بروتينية حتى يتم التفاعل. وقد وجد أن مثل هذا العامل يتحد مع بروتين كل من أنزيم الكاتاليز والبيروكسيديز وغيرهما من الأنزيمات، ويسمى "بالمجموعة الإضافية". وبعض الأنزيمات قد يحتاج لما يسمى بمساعد الأنزيم مكان المجموعة الإضافية. ومثل هذه المواد التي يحتاج إليها الأنزيم في عمله تمثل جزءا مهما في أبحاث الأنزيمات رغم تضارب الآراء فيه، ويلزمنا بعض التفصيل لشرح أهمية هذه المواد. فالذي نعرفه حتى الآن أن بعض الأنزيمات لا تستطيع القيام بعملها في معظم التفاعلات الأنزيمية إلا في وجود مساعد الأنزيم، فمثلا لا تسير عمليات التخمر التي سبق شرحها إلا في وجود مساعد الأنزيم رقم "واحد".

وليس أعقد من ميكانيكية التفاعلات الأنزيمية إلا العوامل التي تؤثر على هذه التفاعلات. فما الذي يحدد وقت وسرعة النشاط الأنزيمي في الخلايا العصبية أو الخلايا العضلية وغيرها من الوحدات المتخصصة الذي يتكون من مجموعها الكائن الحي الراقي، حيوانا أو نباتا؟

هنالك بعض الأدلة التي تشير إلى أن الهرمونات تلعب دورا مهما في تنظيم الأجهزة الأنزيمية، والتحكم في عملها. ومنذ سنتين قام برايس وكارل كوري وكولوديس من جامعة واشنجتون سانت لويس بأبحاث قيمة في هذا المجال. فقد اكتشفنا أن الهرمونات تستطيع التحكم في الأجهزة الأنزيمية التي تحافظ على الاتزان بين سكر الدم وجليكوجين الكبد، ويستطيع هرمون الأنسولين مثلا أن يخفض كمية السكر في الدم وذلك بترسيبها كجليكوجين في الكبد، كما أن الهرمون المسبب لمرض السكر، الذي تفرزه الغدة النخامية، يستطيع أن يحول جليكوجين الكبد إلى سكر في الدم، وبذلك يرفع كمية السكر في الدم. ومن هذا نرى أن مرض السكر قد ينشأ، أما عن قلة هرمون الأنسولين وأما عن زيادة هرمون الغدة النخامية وقد بين هؤلاء العلماء أن هذين الهرمونين يعملان عن طريق التأثير في تفاعل أنزيم الهكسوكينيز، نفس الأنزيم الذي يبدأ

عملية التخمر الكحولي في خميرة البيرة.

ويعمل أنزيم الهكسو كينيز في الكبد عن طريق إضافة مجموعة الفوسفات إلى الجلوكوز وهي إحدي الخطوات الضرورية لتخزين السكر، ويقوم هرمون الغدة النخامية باثباط هذا التفاعل سواء لزيادة افرازه، أو لنقص في افراز هرمون الأنسولين، والمهم أن تكون هناك زيادة نسبية في هرمون الغدة النخامية، وهي تؤدي إلى نقص الجليكوجين المخزون في الكبد وزيادة كمية السكر في الدم.

وكان اكتشاف هذه الحقيقة أول ارتباط بين الهرمونات والأنزيمات، أما الانزيمات الأخرى كتلك التي تسبب وجود الأقزام أو العمالقة فهي تؤثر غالبا على النمو وعلى عملية التمثيل بطريقة مشابهة.

وتؤدي بنا هذه الحقائق إلى أن الانزيمات يمكن اثباطها أو تنشيطها، فهل يثبط الهرمون المسبب لمرض السكر أنزيم الهكسوكينيز عن طريق تغطية حفره النشطة بمواد معينة فيصبح الأنزيم غير قادر على عمله؟ وهي يزيل هرمون الأنسولين هذا الاثباط بإزاحة هذه المواد؟ ولا يستطيع الإجابة عن هذه الأسئلة إلا التجارب التي ستظهر قريبا. ولكن من المعروف أنه في كثير من العمليات الحيوية تلعب تغطية الأنزيم وإزاحة هذا الغطاء دورا مهما، فمثلا أنزيم الببسين الذي يقوم بهضم البروتينات، يدخل المعدة في حالة غير صالحة للعمل، إذ يفرز من جدار المعدة كمادة خاملة وهي الببسينوجين ثم يتحول بعد ذلك إلى الببسين بفعل حمض الأدركلوريك الموجود في العصارة المعدية. وينخفض الوزن الجزيئي للأنزيم في أثناء هذه العملية من ٤٢٠٠٠ إلى ٣٨٠٠٠- وهذا يعني انفصال جزء بروتين كان يعمل كقناع يمنع الببسين.

ويشاهد على الأجنة باستمرار عملية إزالة مثل هذا القناع عن المواد. فالبيضة غير الملقحة مجهزة بكل احتياجات الطاقة الحيوية، فهي تحتوي على مادة A. T. P كمصدر للطاقة، ومئات من الأنزيمات على أهبة الاستعداد لبناء شجرة أو طفل من بقعة من البروتوبلازم متناهية في الصغر، ولكن هذه الأنزيمات تظل خاملة، ربما لوجود قناع

خاص، حتى تتم عملية التلقيح– وعندئذ يذوب هذا القناع بطريقة غير معروفة وتنطلق مئات من التفاعلات مرة واحدة، وتبدأ الخلية في النمو والانقسام.

وقد أنارت الأبحاث، الخاصة بفعل الأنزيمات والعوامل التي تتحكم فيها، الطريق لحل عدد من المشاكل الحيوية والطبية. فالأنزيمات لا تباشر سير العمليات الحيوية في البيضة النامية فحسب، بل تلعب دورا هاما في عملية التلقيح، فالبيضة غير الملقحة محاطة بغطاء سميك يحميها، ويتكون من خلايا يربطها بعضها ببعض مادة تسمى بحمض الهيالويورونيك، ويحمل الحيوان المنوي الأنزيم هيالويورونيديز الذي له القدرة على كسر هذا الحاجز واختراقه.

وتدل التجارب على أن الحيوان المنوي الذي يقوم بعملية التلقيح لا يحتوي على كمية من الأنزيم تكفي لكسر مثل هذا الحاجز، وأن الحيوانات المنوية الأخرى لابد وأن تساهم بما تحتويه من هذا الأنزيم. ويتمشى هذا التفسير مع الحقيقة وهي أنه ربما يلزم حوالي مليون حيوان منوي لعملية التلقيح، ولو أن واحدا فقط هو الذي يخترق البيضة. وعلى هذا الفرض قام بعض الأطباء بإعطاء الأنزيم في عدد من حالات العقم في الرجال، وتدل النتائج المبدئية على نجاح إزالة مثل هذه الحالات. وعل أي حال فبالرغم من هذا النجاح فإن علاج العقم لابد وأن يقوم على فهم واضح لتلك الأنزيمات.

وقد وجدت الأنزيمات أيضا في مصاحبة سموم الأمراض المعدية، فيفرز مثلا ميكروب كلوستريديوم ولشاي– (كائن حي يشبه العصى ويوجد في الغنغرين الغازية)– أنزيما يسمى الليثيسينيز يستطيع أن يحطم الكرات الدموية الحمراء بتكسير مادة الليثيسين التي تربط حائطها (ويوجد أنزيم الليثيسينيز في سم الكوبرا وسم ثعبان الرقطاء)– وتفرز هذه الجرثومة أيضا أنزيما يذيب بروتينات النسيج الضام في العضلات، وينتج الغاز في الغنغرين بفعل مجموعة من الأنزيمات التي تنشط عملية التخمر الباثولوجية. ويظهر فعل كثير من الأدوية، والسموم بعلاقات مشابهة لتفاعلات أنزيمية.

وكان لدراسة التركيب الكيميائي لمساعد الأنزيمات تطورات غير متوقعة

[1] عشرة ملايين

في الطب، ففي سنة ١٩٣٢ وجد أن الجزء الأساسي لمساعد الأنزيم رقم "واحد" هو حمض النيكوتينيك، وبعد ذلك بثلاث سنوات بين العالم الفهجم ومساعدوه من جامعة وسكونسن، أن هذه المادة هي الفيتامين المانع لمرض البلاجرا. أما الفيتامينات الأخرى التي ثبت أنها تكون أجزاء من مساعد الأنزيمات فهي ب ١، ب ٢، ب ٦. ومازال البحث جاريا لمعرفة ما إذا كانت بقية الفيتامينات تدخل في تكوين مساعد أنزيمات أخرى. والفيتامينات هي تلك العوامل الغذائية التي يحتاج إليها الفرد بكميات متناهية في الصغر قد تصل إلى الآثار ،وأن يحدث زيادات كبيرة في عدد كرات الدم الحمراء لمرضى الأنيميا.

وتعتبر الفيتامينات من المواد الضرورية لحياة بعض البكتيريا ،كما هي الحال في الإنسان، وفتحت هذه الحقيقة الباب لاستخدام عملية الاثباط الانتقائي للأنزيمات في الطب. وقد اكتشفت هذه الطريقة بالصدفة عندما استعملت مستحضرات السلفا التي كان أثرها على الجراثيم لا يزال غامضا، فوجد أن قوة السلفا لمنع تكاثر البكتيريا تقل كثيرا في وجود مادة تسمى حمض برا امينو البنزويك **PAB** وهو أحد أفراد فيتامين ب المركب، وعامل أساسي لنمو كثير من الكائنات الحية. ونظرة بسيطة نقارن فيها بين التركيب الجزيئي لمادة السلفا تاميد والحمض تمر لنا السبب في هذه الظاهرة.

والجراثيم التي تحتاج إلى الفيتامينات تستعملها كجزء من مساعد أنزيم يدخل في عملياتها للتمثيل الغذائي، التي تسير على ما يرام حتى تظهر مادة السلفان اميد. ويشبه هذا العقار مادة **PAB** في التركيب الكيميائي شبها كبيرا، وتعتمد قدرته كعقار على هذا الشبه، فلا يستطيع البكتيريوم التفرقة بينهما؛ حيث تأخذ الجرثومة مركب السلفان اميد كأنه احد موادها الغذائية، ويسير هذا الفيتامين المزيف في تفاعلات البكتيرويوم حتى يكون مساعد الأنزيم الذي يوقف عمل الأنزيم الأصلي مستقبلا.

وقد ألقى دور الفيتامينات، والعوامل المساعدة الأخرى في عمل الأنزيمات، ضوءا جديدا على أهمية العناصر التي يحتاج إليها النبات والحيوان في تركيزات طفيفة. ففي سنة ١٨٩٥ كان مرض العشل يقتل المواشي بالآلاف في مراعي استراليا، ولتشابه

أعراض هذا المرض وأعراض الأنيميا أخذ الرعاة يمدون هذه المواشي بجرعات كبيرة من الحديد، وقد نجح هذا العلاج مع بعض الماشية وفشل في حالات أخرى، ولم يكن هناك أي تفسير لهذا الفشل إلا الاختلاف في مصدر الحديد المستعمل.

$\frac{1}{\text{مليون}}$ثم قامت الحكومة الأسترالية باستيراد الحديد الخام من جميع أنحاء العالم، وبعد تحاليل مضنية توصلت إلى أن الحديد الذي يشفي هذا المرض يحتوي على كميات متناهية في الصغر من الكوبلت، وقد اختفى المرض تماما بعد استعمال الكوبلت.

ويمكن تفسير احتياج الجسم لهذا العنصر بأن بعض الانزيمات يحتاج تركيبها لأحد المعادن بتركيز صغير، وإذا ما نقص هذا المعدن فإن قدرة الأنزيم على العمل تقل كثيرا. فمثلا يحتاج أنزيم الأينوليز الذي يباشر إحدى الخطوات الرئيسية في عملية التخمر الكحولي إلى أيون لمغنسيوم، ولا يستطيع أنزيم الهكسوكينيز أن يباشر عمله إلا في وجود المغنسيوم أيضا.

ومازالت هناك بعض التطبيقات العملية الأخرى للأنزيمات، وبتحضير أنواع من الكائنات الحية الدقيقة التي تحتوي على تركيزات عالية من الأنزيمات، أمكن زيادة قدرتها على عمليات التخمر الكحولي في صناعة البيرة والنبيذ والمشروبات الروحية الأخرى.

وتستخدم الأنزيمات أيضا في الحصول على الغازات القابلة للاشتعال والسماد، وغيرها من المواد النافعة، والتي تحضر من مواد رخيصة مثل **Sewage** ومخلفات وبقايا بعض المواد الصناعية. وتستطيع الأنزيمات أن تلين اللحوم، وتدبغ الجلود، وتحول نشا القمح إلى شراب وإلى سكريات، وتساعد في إنتاج عدة أنواع من أدوات الزينة إلخ..

وقد أصبح تحضير الأنزيمات في هيئة بلورات نقية واستخدامها في الصناعة على نطاق واسع من الأمور السهلة، ولكن المشكلة التي تحير العالم الآن وتتحداه، هي الكيفية التي يصنع بها جسم الإنسان أو أي كائن حي آخر هذه الأنزيمات. فالأنزيم ليس إلا بروتينا ويصنع من ترتيب أحماض الجسم الأمينية في سلسلة تتصل أجزاؤها

بروابط ببتيدية. وإذا تصورنا هذه العملية في بساطة فيمكننا أن نعتبر أن الأنزيم يتكون من اتصال جزيئين من البروتين بمساعدة أحد الأنزيمات. ولكن كيف صنع هذا الأنزيم الأول؟ ولا نستطيع أن نخرج من هذا المأزق، إلا بفرض أن بعض الجزيئات لها القدرة على أن تصنع جزيئات مثيلة لها، أي تستطبه أن تقوم بعمل الأنزيم في هذه العملية. وليس هذا إلا عملية تكاثر على مستوى جزيئي، وليس أمامنا من له مثل هذه الصفة إلا وحدات الوراثة وهي الجينات، والفيروسات التي لا تحتاج إلى أنزيمات في تكاثرها، ومن المحتمل أن تكون الجينات هي فعلا الصانع الأساسي للأنزيمات.

وقد درست هذه المشكلة على فطر الخبز الأحمر "النيوروسبورا" فوجد أن تعريض الفطر للاشعاعات فوق البنفسجية يفقده جينا واحدا في كل حالة، وبذلك يمكننا الحصول على أنواع وسلالات ينقص كل منها أحد الجينات، وقد وجد أن كلا من هذه الأنواع يعطي فطرا لا يستطيع صناعة أنزيم معين، بينما نستطيع فصل هذا الأنزيم من الفطر العادي.

وإذا انتقلنا من الفطر إلى الإنسان وجدنا أن بعض الأمراض تنتج عن نقص في أنزيم معين، وعلى خذا تنتقل هذه الأمراض بالوراثة تبعا لقوانين مندل، وأحد هذه الأمراض هو نقص في القدرة العقلية ينتج عن نقص الأنزيم الخاص بالتمثيل الغذائي للحمض الأميني "فينيل الأنين" كما يؤدي نقص هذا الأنزيم إلى عدم تكوين المواد الملونة في الجلد "**Albinism**" وحيث أنه يمكن ارجاع هذين المرضين إلى نقص في جين معين، فإن هذا يزيد من قوة الفرض القائل بان كل جين يختص بصناعة أحد الأنزيمات.

ويظهر مما سبق أن الأنزيمات توصلنا إلى جوهر المشاكل البيولوجية ألا وهو البروتين. ولن نتوصل إلى فهم هذه المشاكل فهما كافيا إلا إذا كشفنا سر هذه البروتينات، وبخاصة الأنزيمات، وتلك الجزيئات التي تتكاثر من تلقاء نفسها.

التمثيل الغذائي للدهون

دافيد جرين

تحصل الحيوانات عل كل طاقتها تقريبا من أكسدة السكريات والدهون. وقد مضى وقت طويل منذ عرف علماء الكيمياء الحيوية كيف تتأكسد هذه المواد إلا أنهم لم يكتشفوا، إلا حديثا، التفاصيل الدقيقة لعملية أكسدة الدهون، وبعد حوالي ٥٠ سنة من أبحاث متواصلة في جميع أنحاء العالم. وقد نظرت اللجنة الخاصة بجائزة نوبل بعين التقدير إلى هذه المشكلة العلمية عندما منحت الجائزة لعالمين تمكنا من فتح هذا الباب الغامض.

وتتكون الدهون من اتحاد الأحماض الدهنية مع أحد الكحولات كالجلسرين، وتمثل الأحماض الدهنية الجزء الذي يحرقه الجسم من الدهون، وتتكون السلسلة الكربونية للحمض الدهني في العادة من ١٦ إلى ٢٠ ذرة من الكربون.

وتجتاز عملية حرق الأحماض الدهنية في الجسم خطوات متتابعة معقدة تحت رعاية محكمة، وليس أمام الكيميائي حين يدرسها إلا اختيار المواد الناتجة من الاحتراق، أما الوصول إلى نواتج الاحتراق المتوسطة فهنا تكمن العقبات.

وفي سنة ١٩٠٤ فتح عالم في الكيمياء الحيوية، ألماني الأصل، يدعي فرانز كنوبز، الباب، لفهم هذه العملية بتجارب تفيض بالعبقرية. فقد خطر له أن يلصق الأحماض الدهنية لأحد المواد الحاملة غير القابلة للاحتراق، بالضبط كما تلصق قطعة من الجبن إلى كتلة من الخشب لا يمكن أكلها، ثم تعطي هذه المواد لحيوانات التجربة، ثم يحلل البول باحثا عما بقى من هذه المواد بعد عملية الأكسدة. وكانت المادة الحاملة التي ألصقها بالحمض الدهني هي حلقة البنزين، وقد ألصقها إلى نوعين من الأحماض

الدهنية، نوع يحمل عددا زوجيا من ذرات الكربون والآخر يحمل عددا فرديا. وتعرف هذه المواد بفنيل الحمض الدهني.

وقد كان له ما توقع إذ اختلفت نواتج التمثيل المفرزة في البول نتيجة لتمثيل كل من هاتين المادتين، إذ نتج عن الحمض الدهني ذي العدد الزوجي حمض فينيل الخليك الذي يركب من مجموعة الفينيل وذرتين من الكربون، أحداهما تكون مجموعة الكاربوكسيل، أما الذي يحمل العدد الفردي فقد أعطى حمض البنزويك الذي يتركب من مجموعة الفينيل ومجموعة الكاربوكسيل فقط. وقد استنتج كنويز وكيميائي آخر في نفس الوقت، يدعي هنري داكن: أن الجسم يقوم بتكسير هذه السلسلة إلى أجزاء متتابعة يتكون كل منها من ذرتين من الكربون أحداهما تكون مجموعة الكاربوكسيل، وعند انفصال كل مجموعة تتكون مجموعة كاربوكسيل أخرى في الطرف. ويسمى الكيميائيون ذرة الكربون التي يحدث عندها الانفصال بالذرة "ألفا"، والذرة التي تبقى في الطرف بالذرة "بيتا" وعرفت العملية بأنها الأكسدة عند الذرة "بيتا" " B- Oxidation". وقد بين كل من كنويز وداكن أنها تحدث على أربع خطوات.

ولم يأت في نظرية كنويز إلا الحقيقة، ولكن اثباتها استغرق نصف قرن، عرفت بعده المواد المتوسطة التي تنتج عن الخطوات الأربع لعملية الأكسدة للذرة "بيتا". وكانت الصعوبات الرئيسية في ذلك هي صعوبة فصل المواد المتوسطة والمواد المفروزة في البول. وفي مثل هذه المشاكل العلمية تطيش محاولات كثيرة لكثير من البحاثة، قبل أن تلمع ومضات الإلهام أمام أحد الباحثين العباقرة، فينجح في تجاربه ويساعد هذا النجاح نجاح ملهم آخر حت تحل المشكلة تماما.

ففي سنة ١٩٠٦ ضرب الكيميائي الألماني جوستاف امبدن أول معول في حائط المشكلة بدراسته لعملية التمثيل الغذائي للأحماض الدهنية في عضو واحد، بدلا من دراستها على الجسم كله. وقد فصل هذا العالم كبد أحد الحيوانات ورتب لهذه الكبد دورة دموية صناعية، تدفع الدم في الكبد، وتأخذه منها، بطريقة منتظمة تشبه الدورة الدموية الطبيعية. وأخذ يضع المواد الغذائية والأكسجين في دم هذه الدورة باستمرار

حتى نجح في ابقاء الكبد حية قادرة على مباشرة وظائفها المختلفة. ثم أضاف الأحماض الدهنية إلى الدم قبل دخوله الكبد، فوجد أن للكبد المفصولة القدرة على أكسدة أنواع كثيرة من هذه المواد، ولكنه لم يجد في الدم الخارج من الكبد إلا مادة واحدة في كل حالة، وهي ثنائي حمض الخليك(اسيتوأستك) **Acetoaceci acid**– ويتركب من جزيئين متحدين من حمض الخليك– وتمثل هذه المادة الناتج النهائي لعملية الأكسدة. أما المواد المتوسطة فلم يجد لها أثرا، ولم يأت امبدن في هذه التجربة بجديد، ولكنه استطاع أن يعرف بداية الطريق الصحيح لحل هذه المشكلة. وكان يرمي إلى تبسيط ظروف التجربة إلى أقصى حد ممكن. ولم يستطع البحاثة السير في هذا الطريق إلا بعد سنين طويلة. ففي سنة ١٩٣٥ تقدم الكيميائي الحيوي الإنجليزي كاستيل خطوة جديدة في الطريق بدراسة عملية الأكسدة في شرائح رفيعة من الأنسجة، بدلا من استخدام الأعضاء الكاملة، وقد استطاع بهذه الطريقة أن يعرف قدرة الأنسجة المختلفة على هذه الأكسدة ولكنه فشل في فصل المواد المتوسطة.

ثم قدم العالمان لويس للوار وميونور اكتشافهما الخالد حين سحقا خلايا الكبد، وأثبتا أن الحبيبات الدقيقة لتلك الخلايا بعد فصلها عن البقايا الخلوية الأخرى، تستطيع أن تقوم بعملية التمثيل الغذائي للأحماض الدهنية بقدرة لا تقل عن قدرة الخلايا السليمة. ولا يعطى هذا الاكتشاف حق قدره إلا الباحثون المشتغلون بهذا الفرع، إذ أتاح لهم الفرصة لدراسات كثيرة مكنتهم من الاقتراب من المشكلة حتى مستواها الجزيئي. كانت النتائج الأولى مخيبة للآمال لأن نواتج عملية الأكسدة في الجينات كانت هي نفس المواد الناتجة عن الأكسدة في التجارب السابقة ذات الأجهزة الأكثر تعقيدا. ولكن دراسة هذه الجينات دراسة أكثر تفصيلا فتحت الباب ثانية، وقد عرفت هذه الجينات فيما بعد بالميتوكوندريا، ووجد أنها تحتوى على مئات الأنزيمات التي تساعد على أكسدة الأحماض الدهنية وغيرها من العمليات المتصلة بها. وكانت أهم التجارب التي أجريت على الميتوكوندريا في معمل المؤلف، هي تلك التي أثبتت أن الأحماض الدهنية تتحول إلى شكل آخر قبل أكسدتها. فلا تبدأ عملية الأكسدة إلا إذا أضيفت

مادة قابلة للأكسدة تعرف (بصانع الشرارة الأولى **Sparker** أو مفتاح العملية) إلى المحلول الذي تعلق به الميتوكوندريا. ثم ظهر بعد ذلك أن أكسدة الأحماض الدهنية لا تبدأ بأكسدة هذه المادة نفسها، انما تبدأ بتغير ما يصحب هذه الأكسدة، وقد كان تتبع هذه التغيير الغامض عملية شاقة، اشترك فيها بحاثة مختلفون قدم كل منهم جزءا من الحل. وقد جاء أحد هذه الأجزاء من اكتشاف ما يسمى بدورة حمض الستريك أو دورة كريبس" التي اكتشفها العالم الإنجليزي هانز كريبس (وقد كوفيء على هذا الاكتشاف بنصف جائزة نوبل عن سنة **١٩٣٥** لعلم الفسيولوجي) وتشرح هذه العملية خطوات أكسدة حمض البيروفيك (وهو أحد نواتج تكسير السكريات) إلى ثنائي أكسيد الكربون والماء. وتمر هذه العملية في خمس خطوات منفصلة، وعندما تتأكسد النواتج المتوسطة في هذه العملية يتحول الفوسفات غير العضوي إلى الدينوزين ثلاثي الفوسفات **A T P**، وهي المادة المسئولة عن مد معظم التفاعلات الكيميائية في الخلية بالطاقة اللازمة.

وبدأ يتضح الدور الغامض لمفتاح عملية أكسدة الأحماض الدهنية، فأي مادة من المواد المتوسطة في خطوات حلقة حمض الستريك، تستطيع أن تبدأ هذه العملية، وعلى ذلك فيمكن اعتبارها مفتاحا، وإذا ما مر أحد هذه المواد في مراحل الأكسدة أنتج مادة **A T P** التي تحدث تغييرا ما في الأحماض الدهنية. ومن هنا بقى أمامنا أن نجيب عن السؤال التالي: ماكنة هذا التغيير وكيف تتوقف عليه عمليات الأكسدة التالية؟ للإجابة عن هذا السؤال ننقل إل أبحاث فريتز ليبمان من جامعة هارفارد (الحائز على النصف الآخر من جائزة نوبل لسنة **١٩٣٥** في علم الفيسيولوجي).

اكتشف ليبمان في الأنسجة الحيوانية مادة ضرورية لحرق حمض الخليك في الجسم، وقد سماها مساعد الأنزيم أ (ومساعد الأنزيم جزء أصغر بكثير من الأنزيم، ويمكن تمثيل الفرق بين حجميهما بالشمس والقمر) وهو مادة غير بروتينية يصمد للحرارة غالبا. وقد استطاع ليبمان وزملاؤه تنقية هذه المادة وتحليلها، وقد وجد أنه يتركب من ثلاثة أجزاء أساسية.

١– حمض الباتنوثينيك (أحد أفراد فيتامين ب المركب)

٢– مجموعة الفوسفات ذات الطاقة العالية.

٣– ثيوايثانولامين) الذي قام باكتشافه ازموند سنل من وسكونسن).

وقد توصل ليبمان إلى أن حمض الخليك الذي يدخل في تفاعلات الخلية ليس في طبيعته الأصلية، إنما في حالة أكثر نشاطا، وقد أدت عدة مشاهدات إلى أن هذا الحامض يتفاعل مع مساعد النزيم "أ" منتجا أستيل مساعد الأنزيم. ولكنه لم يستطيع فصل هذا المركب. ونجح العالم فويدر لينين في جمع معلومات عن مساعدة الأنزيم "أ" تمكن بها من الوصول إلى فصل أسيتيل الأنزيم من الخميرة، وقد أعلن نجاحه في ذلك سنة ١٩٥١.

وهناك من الكائنات الحية الدقيقة ليس لها القدرة على صنع الأحماض الدهنية في غياب الأكسجين، وفي وسط يحتوي على الكحول الأثيلي كمصدر للكربون– وبذلك تحدث العملية العكسية لحرق الأحماض الدهنية، وقد وجد باركر وستادمات أن هذه الكائنات تحتاج في هذه العملية إلى مساعد الأنزيم "أ" فتتحول الأحماض الدهنية إلى أستيل الأحماض الدهنية، وهي مواد أنشط من الأحماض نفسها، شأنها في ذلك شأن أستيل حمض الخليك بالنسبة لحمض الخليك.

ثم استطاع بعد ذلك علماء الكيمياء الحيوية أن يواصلوا دراستهم لعملية أكسدة الأحماض الدهنية، وكان عليهم أن يتبعوا استراتيجية جديدة في حل المشكلة، وذلك بمحاولة تحضير النواتج المتوسطة للعملية، ثم فصل الأنزيمات التي تساعد على التفاعلات واحدا أثر واحد. وقد تعطلت الأبحاث مرة أخرى بسبب قلة الكميات النقية المحضرة من مساعد الأنزيم "أ" والذي كان يحضر حينئذ في كميات لا تزيد على بضعة ملليجرامات، وقد ذلل هذه العقبة مجموعة من بحاثه جامعة وسكونسين حين فطنوا إلى أن الخميرة غنية بمساعدة الأنزيم "أ"، فقاموا بفصل هذا الأنزيم المساعد من الخميرة بامرار مستخلصها في أنابيب، تحتوي على مسحوق الفحم الناعم حيث يلتصق

مساعد الأنزيم بسطح الفحم، ويمكن الحصول عليه بعد ذلك بإمرار مذيب مناسب في عمود الفحم، ثم يرسب من المذيب في هيئة ملح نحاسي إذا ما أضفت له الملح النحاسي لمادة الجلوتاثيون، وأمكن بهذه الطريقة تحضير كميات تصل لبضعة جرامات.

وبعد ذلك توصل هنري ماهلر وصالح وكيل إلى تحضير مشتقات الأحماض الدهنية المطلوبة، ففصلوا من كبد الماشية أنزيما، يستطيع أن يحول الأحماض الدهنية المختلفة في وجود **A T P** إلى أستيل الأحماض الدهنية، وكانت الطريقة باهظة التكاليف ولكنها أمدتهم بكل المشتقات المطلوبة. وبقى بعد ذلك مشكلة تحديد الأنزيمات التي تساعد على هذه التفاعلات، وقد قامت مدرسة المؤلف في جامعة وسكونسين بفصل الأنزيمات عن الميتوكوندريا، بعد أن اتبعوا ملاحظات جورج دري سدال وهنري لاردي لتحضير الميتوكوندريا، التي تحتوي على الأنزيمات، من الحيوانات المذبوحة. وبعد اختبار هذه الأنزيمات وجدوا ما توقعوه، وهو أن لكل خطوة من خطوات أكسدة الأحماض الدهنية أنزيما خاصا. وقد عرفت الخطوات الأربع، والأنزيمات التي تساعد على كل منها.

وقد توصل لينين في ألمانيا، حيث كان يتعاون مع سيفيرو أوشودا من جامعة نيويورك، إلى نفس النتائج، ولكنهما سلكا طريقا آخر. فنظرا إلى نقص مادة مساعد الأنزيم "أ" عندهما ونقص الأنزيمات التي تستخدم في تحضيره، استعملا في اختبار هذه العملية مواد صناعية، هي مركبات من الأحماض الدهنية ومادة الثيوايثا نولامين، وهي إحدى المواد الأساسية المخلقة التي يتكون منها مساعد الأنزيم "أ"، وقد استطاعت بعض الأنزيمات التي تباشر عملية أكسدة الأحماض الدهنية أن تؤثر على هذه المواد فعلا.

ويظهر لنا مما سبق كيف كان فصل المواد المتوسطة صعبا، إذ يستمر اتصال مساعد الأنزيم "أ" بالأحماض الدهنية إلى أن يصل إلى آخر خطوات حلقة التفاعلات الكيميائية، وهي ثنائي حمض الخليك، وبذلك لا ينفصل الحامض الدهني عن الأنزيم المساعد إلا بعد نهاية الشوط.

وقد يحتار القارئ متسائلا.. لماذا تقوم الخلية بأكسدة الأحماض الدهنية إذا كانت تفقد مادة ATP عند بداية كل عملية، والجواب على ذلك هو أن سلسلة التفاعلات التي تؤكسد هذه المواد تضيف للخلية حوالي مائة جزيء من مادة ATP في كل مرة تفقد فيها الخلية جزءا واحدا وبذلك تحصل الخلية على جنيه عن كل قرش تصرفه.

وقد نتج عن الاهتمام بالتفاصيل الأنزيمية لعملية اكسدة الأحماض الدهنية أن تأكدنا من أن ثلاثة من أفراد فيتامين ب المركب (افلافين، والنياسين، وحمض الباتنوثينيك) تدخل في عملية الأكسدة، وأن مادة ATP تسبب بدء العملية عندما تنشط الأحماض الدهنية يتحويلها إلى مركباتها مع مساعدة الأنزيم "أ" وأن النحاس والفلافين يساعدان الأنزيم الذي يباشر سير الخطوة الأولى. ثم توالت بعد ذلك الاكتشافات. ومنا أن المولبدنيوم والحديد يعملان لمجاميع أساسية في الأنزيمات الأخرى التي تحتوي على الثلافين، والتي ليست لها أية علاقة بأكسدة الأحماض الدهنية.

كما أن طريقة الوصول إلى الحقائق السابقة تعطي لنا وسيلة جديدة قد تستخدم في حل لمشاكل أخرى مشابحة. فعكس عملية أكسدة الأحماض الدهنية تقريبا، يحدث عندما تصنع الأحماض الدهنية ذات السلاسل الكربونية الطويلة، كما في صنع مادة الكولستيرول وغيرها من المواد الاستيرويدية والمواد الكاروتيتويدية النباتية (مثل فيتامين أ) والمطاط، فكل هذه العمليات تعتمد على اتحاد نفس الوحدات الأساسية، ولا تختلف إلا في نوع الاتحاد. ففي صنع الأحماض الدهنية تصل ذرات الكربون بعضها ببعض في ترتيب طولي كحبات الخرز على الخيط، وتختلف صناعة المواد الكاروتينويد في ظهور تفرعات جانبية لهذا الترتيب الطولي على مسافات متساوية، أما في صناعة الكولستيرول فيلتف خيط ذرات الكربون مكونا عجة حلقات. وليس بالأمل البعيج بعد أن وصلنا إلى دور الأنزيمات في أكسدة الأحماض الدهنية من أن نصل إلى تحضير هذه الأحماض تحضيرا صناعيا، باستخدام هذه الأنزيمات بعد فصلها، وقد لا يفصلنا عن هذا الأمل إلا السنوات الخمس أو العشر القادمة.

كما يمكننا أن نستخدم ما حصلنا عليه من المعلومات الخاصة بأكسدة الأحماض الجهنية في تفسير بعض أسرار مرض السكر. فكثير من المرضى بهذا المرض لا يستطيعون حرق الأحماض الدهنية حرقا تاما، إذ يحتوي البول على كميات غير عادية من نواتج أكسدة جزئية ف نفس الوقت الذي تقل فيه كمية الدهون في أجسامهم بدرجة ملحوظة وإذا حقن هؤلاء المرضى بهرمون الأنسولين، أصبح في امكانهم حرق الأحماض الدهنية حرقا تاما كما ترجع لهم القدرة على صنع وتخزين الدهون. ويهر من هذا أن مرض السكر يصحبه عطل ما في الجهاز الأنزيمي المسئول عن صناعة الدهون، ولا يصبح هذا غريبا إذا عملنا أن نفس هذا الجهاز الأنزيمي، هو المسئول عن عملية حرق الأحماض الدهنية إذا ما باشر عمله في طريق عكسي.

الباب الخامس

الخلية والكائن الحي

نبذة عن المؤلفين

١- انقسام الخلية: بقلم/ دانيال مازيا

دانيال مازيا هو الأستاذ المساعد لعلم الحيوان في جامعة كاليفورنيا ببركلاى وطالما قال: إنه اختار هذه الولاية، وهذا المعهد مكانا لأبحاثه لأنه يستطيع أن يحصل منه طول السنة على الكائنات التي يدرس عليها عملية انقسام الخلية مصل أرشين البحر Seaurc in) وقد ولد في سكراتنون وتعلم في جامعة بنسلفانيا حيث حصل على درجة الدكتوراه تحت اشراف العالم الفسيولوجي المشهور هيلبرون. ثم أمضى سنة في برنستون كزميل في الأبحاث الدولية ثم درس في جامعة ميسوري حتى سنة ١٩٥١ بعد أن أمضى ثلاث سنوات في خدمة الحرب كخبير في فسيولوجيا الطيران.

٢- تخليق الخلايا: بقلم / ك. ه. وادنجتون

بدأ وادنجتون حياته العلمية جيولوجيا فأثارت اهتمامه عملية التطور فتحول عن الجيولوجيا إلى علم الوراثة، ثم إلى تفسير وظائف الجينات، وأخيرا إلى هدفه الحالي، وهو علم دراسة الأجنة الذي وصل به إل منصب أستاذ علم الوراثة في الحيوانات، في جامعة أدنبرج. وفي أثناء الحرب كان مسئولا عن قسم أبحاث العمليات الساحلية للقوت الجوية الملكية. وانتخب في سنة ١٩٤٧ زميلا في الجمعية الملكية. وله نشاط خارج نطاق اختصاصه، وهو الكتابات الفلسفية التي برع فيها ومؤلفاته عن التطبيق العلمي في الحياة الاجتماعية.

انقسام الخلية

دانيال مازيا

لو تغاضينا عن بعض الاستثناءات فإن أي كتلة حية يزيد حجمها على المجال الميكروسكوبي لابد وأن تتكون من عدة خلايا. وقد وجد أن قدرة الخلية على النمو محدودة، والنمو هو زيادة المحتوي الخلوي من المواد الكيميائية التي لا تتواجد في العالم غير العضوي. وتستطيع الخلية أن تضاعف كتلتها عن طريق النمو، ولا يتمتع بهذه الميزة من الموجودات إلا الخلية، مع وجود بعض الاستثناءات، ولذا فأية زيادة جوهرية لابد وأن تأتي عن طريق انقسام الخلية وانتاجها لخلايا جديدة، ولهذا تزيد المادة الحية باستمرار عن طريق التكاثر.

وهذه الحقائق تعتبر أولية في هذه الأيام، ولكنها كانت تبدو غير معقولة منذ حوالي قرن من الزمن، ولم تكن مقبولة حتى من العالمين الألمانيين اللذين كان لهما الفضل فيما بعد في وضع نظرية الخلية، وهما تبودور شوان وماثنياس جاكوب شليدن. وقد شوهدت عملية الانقسام بالميكروسكوب منذ مدة طويلة، ولكن مثل هذه المشاهدات في مبدئها قلما يوافق عليها، وعلى الأخص إذا ترتب عليها استنتاجات بعيدة التصور. إذا كيف يعقل أن يتكون مخلوق كامل النمو من خلية واحدة. وقد كان يبدو معقولاً ما فرضه العالمان المذكوران من أن الخلايا الجديدة تتكون بطريقة مشابهة لتلك الطريقة التي تكونت بها الخلية الأولى، ولكنهما كانا في هذا الفرض بعيدين جدا عن الحقيقة.

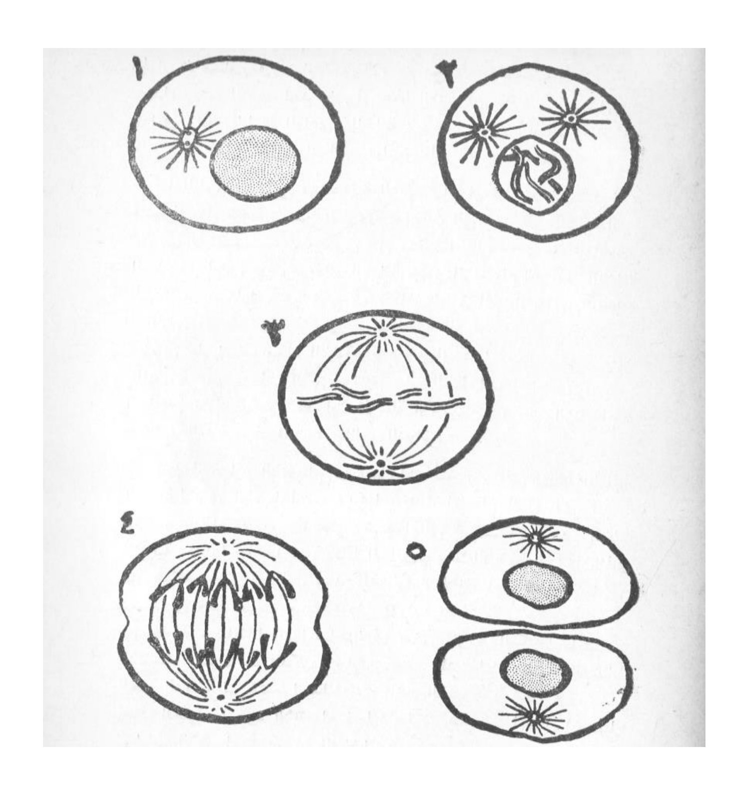
ونحن ندرك الآن تماما الحكمة من أن الخلايا لابد وأن تنتج من خلية واحدة، ولكن بطريقة غاية في التعقيد، حيث ينتقل تركيب الكروموسوم الخيطي الذي يوجد في نواة خلية ما إلى خلية أخرى في دنيا الكائنات الحية مكونا لها تاريخا تتناقله الأجيال.

وهذا يدعونا إلى الاعتقاد في ثبات تركيب هذه الكروموسومات. اما عملية الانقسام ذاتها فتؤكد لنا المحافظة على ثبات هذه الصفات.

وعملية الانقسام في الخلية تفوق جميع أنواع النشاط الخلوي في التعقيد، وتعتبر خطواتها من أدق الخطوات التي تقوم بها الخلية مستخدمة في ذلك طرقا متسلسلة وأجهزة مثالية. ويظهر تنفيذ هذه العملية واضحا إذا ما حاولنا تمثيلها برسوم توضيحية، أو إذا حاولنا تدريسها إل الطلبة أو إلى حديثي العلم بهذه العملية. فجهازها يظهر لمدة وجيزة في اتساق هندسي متقن جميل، تتحرك أجزاؤه في توافق رائع.

ولنحاول الآن أن نرى ماذا يحدث في هذه العملية، تبدأ العملية بالخلية قبل الانقسام، وهي في طورها الهادئ الذي يسبق وقت انقسامها، حين لا يمكننا أن نميز الكروموسومات فيها إلا بوسائل كيميائية ووراثية، إذ أن شكلها الخيطي المعروف لا يظهر إلا في أثناء الانقسام. على أن هناك حالات يظهر فيها جسم دقيق على هيئة فردية أو زوجية بجوار سطح النواة، وهذا ما نسميه "بالسنتريول" أو السنتروسفير.

ويمكننا أن نقسم عملية التكاثر إلى مرحلتين، في الأولى يتكون جهاز الانقسام (أنظر الرسم التوضيحي) وينقسم فيها منفصلا إلى جزئين، يخرج من كل منهما خيوط ليفية تسمى بالأصطرات، ثم يتجه كل جزء إلى أحد طرفي الخلية، وتمتد خيوطهما للتقابل في الوسط، وتبدو بذلك على شكل المغزل. وهنا تبدأ الكروموسومات في الظهور وتأخذ شكل خيوط رفيعة، بينما تأخذ النواة في الاختفاء. وتقترب الخيوط الليفية بعضها من بعض، بينما تتحرك خيوط الكروموسومات إلى القطر الأصغر ثم المغزل، والذي يمثل مستوى عموديا ينصف المسافة بين الجزءين، وبهذا يصبح الجهاز الانقسامي في تمام تكوينه، وتصبح الكروموسومات أزواجا. وتدل بعض الشواهد على أن هذا الازدواج قد دث من قبل أن تراه أثناء الطور الهادئ للخلية، وهذا يعني أن عملية الانقسام ما هي إلا عملية توزيع لنواتج عملية تكاثر قد حدثت فعلا.



أما الطور الثاني من عملية الانقسام فيمتاز بتحركات كثيرة، فتتحرك كل مجموعة من الكروموسومات إلى أحد قطبي الخلية التي تنقسم إلى قسمين يحتوي كل منهما على مجموعة كاملة من السنتروزمات. ويقوم بهذه العملية جهاز الانقسام الذي يدفع الخلية إلى تغيير شكلها، ويتحكم في مكان ظهور الجدار الفاصل للخلية أو الذي يمتد تدريجيا حتى يقسم الخلية إلى نصفين متماثلين، كل يحتوي على نصف مواد الخلية الأم، وجهاز كامل من الكروموسومات يطابق كروموسومات الأم. وتتبع هذه الخطوات تغيرات في كل من الخليتين تشبه عكس خطوات المرحلة الأولى من مرحلتي الانقسام، فتختفي الكروموسومات، وتظهر النواة.

وتحدث عملية الانقسام في تحورات كثيرة. ففي الخلايا النباتية العادية لا ترى الأصطرات، وبينما يحدث انقسام الخلية الحيوانية باختناق يزداد تدريجيا حتى يقسمها إلى قسمين، تبني الخلية النباتية جدارا جديدا، وفي كلتا الحالين يحدث الانقسام في

المكان الذي كان يشغله محور المغزل. وقد كانت فكرة الانقسام في البكتيريا تعارض بشدة إلى وقت قريب. وقد أعلن ادوارد دي لاماتير وستيوارت مود من جامعة بنسلفانيا أنهما شاهدا في بعض أنواع البكتيريا ما يشبه الانقسام السالف الذكر، ولكن بعض المشتغلين بدراسة الكائنات الحية الدقيقة لم يقتنعوا بذلك، وكانت الصعوبة تكمن في صغر حجم الخلية وأجهزة الانقسام فيها، ولكن يبدو من المعقول أن تتشابه عمليات الانقسام في جميع الخلايا.

وكان اكتشاف الانقسام **Mitosis** حوالي سنة ١٨٨٠ صفحة رائعة في تاريخ علم الحياة، ولم يكتشفه مكتشف واحد. وقد كان والتر فلمنج الألماني، هو أول من جمع المعلومات المكتشفة وحاول الربط بينها. ولم يكن الاكتشاف نتيجة لتجربة معملية، بل كان نتيجة لقوة الملاحظة والقدرة على التصور التي تنقص بحاثه علم الحياة في هذه الأيام. فلم يكن لدي هؤلاء البحاثة أي معلومات عن الكروموسومات ولم يكن أمامهم إلا مراقبة خوات الانقسام المختلفة التي غالبا ما تكون في خلايا ميتة، وإنه لمما يثير العجب حقا أن يوجد في أيامنا هذه من يستطيع أن يصل إلى وصف عملية كاملة كعملية الانقسام بهذا القدر الضيئل من المعلومات المجزأة.

وتحدث عملية الانقسام في وقت قصير، وهو في العادة حوالي ٣٠ دقيقة، وقد يصل إلى بضع ساعات في أحوال خاصة، وتستغرق عملية ظهور جهاز الانقسام معظم الوقت، إذ أن عملية الانقسام تتم بعد ظهور هذا الجهاز بدقائق معدودة.

وخطوات عملية الانقسام متعددة ومتشابكة ولكننا، بما نعرفه عما يمكن رؤيته تحت الميكروسكوب، وبما نعلمه عما لا يمكن رؤيته تحت الميكروسكوب، سنحاول أن نتساءل عن التركيب الطبيعي لجهاز الانقسام وكيفية تكوينه، والقوى التي تستخدم في تحريكه عند الانقسام.

قد يوحي ترتيب الكروموسومات المتناظر بعدد من التصورات التي تظهر فيها عملية الانقسام كعملية كهربية ومغناطيسية. ففي معظم الحالات تظهر الكروموسومات

وكأنها تسبح في محلول بخيوط خاصة تتصل بجزء معين منها، وقد سمى هذا الجزء بالسنترومير أو الكينيتوكور، أو ببساطة، الجزء الذي يشبك بالخيط الليفي. وقد اقتنعنا بأن الخيوط الليفية لها قابلية الامتداد والانكماش لسببين، اولهما: أن الكروموسومات عموما تأخذ شكل الحرف "٧" أو "ل" أو شكلا عصويا. وفي كل حالة لها جزء يقابل القطب، وهذا هو الشكل الذي ينتج عندما سحب خيطا في محلول. أما السبب الثاني: فهو أن نقطة الاتصال بين الخيط الليفي والكروموسوم ثابتة في كل كروموسوم، وإذا أزلناها بكسر الكروموسوم بأشعة اكس، أو أي عامل آخر، فإن الكروموسومات لا تتحرك على الاطلاق. ولكن يظهر أن هناك بعض الاستثناءات، فمنذ بضع سنين شاهد شارل متز، من جامعة بنسلفانيا في "ذبابة سكيرا" اثناء الكروموسومات في الاتجاه العكسي، وهذا لم يمكن تفسيره بنظرية انقباض الخيوط الليفية. وقد وضعت عدة نظريات لتفسير ميكانيكية انقسام الكتلة الخلوية، وبخاصة في تلك الحالات التي لم تنقسم فيها الخلية عن طريق اختناق يظهر في وسطها، واحدى هذه النظريات تدعي نظرية "الحلقة المنقبضة". وتنص هذه النظرية على انقباض الطبقة التي تحيط بمنتصف المغزل وقت انقسام الخلية إلى نصفين. وقد وضعت هذه النظرية على أساس تجربة مهمة قام بها دوجلاس مارسلاند من جامعة نيويورك. إذ أنه من المعروف عادة أن الحلقة التي لها القدرة عل الانقباض تتكون من طبقة غروية صلبة، وقد تنبأ مارسلاند بأن هذه الطبقة أنما تتحول إلى الحالة السائلة بتأثير الضغوط العالية التي تبلغ ٥٠٠ ضغط جوي. وقد وجد أن الطبقة الرقيقة التي تبطن الخلايا هي طبقة غروية صلبة تسمى "القشرة". وقد تمكن مارسلاند من اثبات أن هذه الطبقة تسيل بالضغط، وأن الخلايا المعرضة للانقسام إذا ما تعرضت لمثل هذا الضغط فإن طبقة القشرة تصبح في حالة سائلة، وتمنع هذا الانقسام في الوقت نفسه. وعلى أي حال سواء كانت نظرية الحلقة المنقبضة صحيحة أو خاطئة، فإن التجارب أثبتت أن طبقة القشرة في حالتها الغروية الصلبة تلعب دورا أساسيا في انقسام الخلية.

وقد قدم كاتسوما دان، من جامعة توكيو متروبوليتان، نظرية مفصلة عن ميكانيكية

الانقسام في الخلايا التي يظهر فيها الأصطرات **Aster** (اسم لجسمين شبيهين بالنجم يتواجدان في أثناء انقسام الخلية والاختناق) فمنذ سنوات توصل دان إلى طريقة بسيطة تتبع بها حركات سطح الخلية في أثناء الانقسام، حيث وضع حبيبات دقيقة من مادة الفخار على سطح الخلايا فالتصق بعضها وسقط الباقي، ثم أخذ يقيس المسافة بين اثنتين من هذه الحبيبات في أثناء عملية الانقسام وخرج بنتائج غير متوقعة، وهي أن السطح في منطقة الاختناق ينكمش على عكس المعروف.

وحينما يتكون الاختناق تستطيل الخلية، كما يزيد البعد بين قطبي المغزل. وقد فسر دان هذه التغيرات بأن خيوط المغزل، لابد وأن تكون خيوطا صلبة، تبعد نصفي الخلية بعضها عن بعض. إذ عند هذه الخطوة تكون الخيوط الخارجية من الأصطراط، قد تفرعت في جميع الاتجاهات حتى وصلت إلى سطح الخلية من ناحية وقابلت خيوط "الأصطر" المقابل عند وسط الخلية من الناحية الأخرى. عندما تبعد الأصطرات بعضها عن بعض، تقترب أطراف الخيوط المتقابلة عند وسط الخلية. فإذا تصورنا أن أطراف الخيوط متصلة بجدار الخلية، فإن حركتها هذه تشطر هذا الجار من النصف.

وتكون الاصطرات في العادة متساوية في الحجم، وحينئذ تتوقع أن تنقسم الخلية إلى نصفين متساويين. ولكن إذا كان أحد الأصطرات أكبر من الأخر فإن نقطة الوسط في المغزل ستكون أقرب إلى الأصطر الأصغر. وعلى حسب نظرية دان سيؤدي هذا الوضع إلى أن تنقسم الخلية إلى نصفين غير متساويين، أحدهما صغير ويحتوي على الأصطر الأصغر، وهذا ما أثبتته التجارب فعلا. وكانت هذه نقطة قوية في تعضيد هذه النظرية.

ونرى مما سبق أن نظرية دان تعتبر أن سبب الانقسام في الخلية، هو استطالة المغزل. ولكن منذ سنتين تقدم عالمان انجليزيان من علماء علم الحياة، وهما سوان ومتشيسون، بنظرية جديدة لتفسير هذه العملية، وتقف هذه النظرية الجديدة في مكان وسط بين النظريتين السابقتين. ففي نظرية الحلقة المنقبضة لم يكن لجهاز الانقسام أي دور في فصل الكتلة الخلوية، أما في نظرية دان فان جهاز الانقسام هو المسئول عن

هذه العملية. وجاءت نظرية سوان ومتشيسون بوضع جديد يقوم فيه جهاز الانقسام بجزء من العملية، فقد فرضت أن الاختناق يتكون من انثناء جزيئات سطح الخلية الذي يؤدي إلى انكماش مساحته، وفي نفس الوقت يقوم جهاز الانقسام بتحديد مكان الفصل بنفس الطريقة التي شرحها دان.

ومازلنا للآن رغم هذه المشاهدات الميكروسكوبية الكثيرة، ورغم هذه النماذج الطبيعية الممتازة، نشعر أننا بعيدون عن حقيقة هذه العملية. فهذه النماذج ينقصها نوع المواد، أي أن العملية لابد أن تترجم إلى لغة الكيمياء. فما هي إذن المواد التي يصنع منها جهاز الانقسام؟ كيف تنظم هذه المواد في هذا الشكل البديع؟ والإجابة عن هذه الأسئلة لا تضيف جددا إلى ميكانيكية عملية الانقسام، ولكنها تفسر بعض الحقائق التي عرفت سابقا في هذا الموضوع.

وقد اكتشف دان والمؤلف، في جامعة كاليفورنيا الثغرة لإجابة هذه الأسئلة بعد تجارب كثيرة. وكان الجواب واضحا، إذ ينبغي أولا فصل جهاز الانقسام من الخلايا المنقسمة في حالة نقية، وبكمية تكفي لدراسة تركيب الكيميائي، كما ينبغي أيضا فصل المواد النووية الأخرى كالكروموسومات الميتوكوندريا. وكانت هناك صعوبات، إذ أن جهاز الانقسام جهاز مؤقت فهو لا يظهر إلا عندما تنقسم الخلية، ويمر بتغيرات مستمرة في أثناء الانقسام، وهو ليس معلقا في الخلية كما يظهر بل هو مدفون في مادتها، وهو كذلك عد الثبات في الوسط المحيط به، فإذا طحنت الخلية المنقسمة أو عولجت بإحدى المواد الكيميائية لا تجد أثرا لهذا الجهاز.

وإذا أردنا مبدئيا فصل جهاز الانقسام فلابد من أن نستعمل كمية كبيرة من الخلايا التي تنقسم باستمرار. وقد عثر دان والمؤلف على ضالتهما المنشودة في البرك التي يملؤها المد على شواطئ الباسفيك، حين كانا يجمعان بيض أرشين البحر ويلقحانه بالخلايا المنوية حيث تبدأ عملية الانقسام. فإذا استخدمنا عددا كبيرا من هذا البيض ولقحناه في وقت واحد فإننا نحصل على عدد كبير من الخلايا التي تنقسم في تتابع بديع، وتستغرق عملية الانقسام حوالي ساعة. وتمر جميع الخلايا في نفس الأطوار، فقد

وجد ان حوالي ٩٠٪ من هذه الخلايا تكون جهاز انقسام بعد مدة تنحصر بين ٥، ١٠ دقائق، وبهذا أصبح في امكاننا أن نجري التجارب على كتلة ضخمة من الخلايا يمر معظمها بالأطوار المختلفة لعملية الانقسام.

وبما أن جهاز الانقسام عديم الثبات فلابد إذن أن نصل إلى طريقة نوقف بها عملية الانقسام، دون أن يتفكك هذا الجهاز أو يعاني تغييرا كيميائيا جوهريا. وقد وجد بعد بعد عدة محاولات أن السائل المناسب هو الكحول الأثيلي المخفف في درجة حرارة منخفضة (– ١٠° م).

وقد كشفت الطريقة المعتادة التي تعتمد على إذابة الخلايا في فصل هذا الجهاز، ولهذا كان علينا أن نلجأ إلى وسيلة أخرى. فلو فرضنا أن الجهاز يختلف كيميائيا عن بقية مكونات الخلية، فقد نجد طريقة لإذابة الخلية ويبقى الجهاز وحده.

وتوجد لدينا عدة مذيبات تستطيع أن تذيب مواد الخلية دون أن تغير من تركيب جزيئاتها، وأهمها المذيبات الصناعية وهي التي لها فعل الصابون وتستخدم في غسل الأواني والملابس. فوجدنا أن الدوبانول وهو لوريل كبريتات الصوديوم، يذيب سيتوبلازم بيض أوشين البحر المنقسم، ولكنه يذيب جهاز الانقسام أيضا.

وكان المفروض أن يخطر لنا استخدام بعض المواد المطهرة، أو تحليل الظروف التي تساعد على ذوبان الجسم في هذه المذيبات، ولكنا اتبعنا طريقة تصلح أن تكون مثلا في التخمين المنطقي في حل المشكلات العلمية. فتصورنا أولا أن الجهاز الخاص بالانقسام يتركب من البروتين، ولم يكن لهذا الفرض إلا ظل ضئيل من الحقيقة؛ إذ تستخدم الخلية عادة المادة البروتينية في بناء مركباتها وبخاصة المركبات الليفية. كيف تتكون إذن الألياف البروتينية وما هي خواصها؟

إن إحدى الطرق لتكوين الألياف هي ما يسمى بالقنطرة ثنائية الكبريتيد (S. S) بين الجزيئات. وتحتوي الجزيئات البروتينية على كبريت في مجموعة السلف هيدريل (SH-). وإذا ما نزعنا الأيدروجين من جزيئين متجاورين من البروتين (هي إحدى عمليات الأكسدة)

تتصل ذرات الكبريت بقنطرة ثنائية الكبريتيد، وهكذا تتكون بقية السلسلة الليفية.

ورابطة ثنائي الكبريتيد رابطة قوية جدا، وعلى ذلك فمن الصعب إذابة التركيب التي تدخل في تكوينها. وقد بين دافيد جودارد والمرحوم ليونور ميخائيليس (وكانا يعملان في معهد روكفلر للأبحاث الطبية) أن السبب في عدم ذوبان الصوف والبروتينات المشابهة في المحاليل الكيميائية يرجع إلى وجود مثل هذه الروابط. أما إذا أضفنا حمض الثيوجليكوليك، أو ما يشبهه فإن القنطرة تتفكك وتتحول مرة أخرى إلى مجموعتين من السلف هيدريل (وهو عكس عملية الأكسدة السابقة) وعندئذ يذوب الصوف.

ما علاقة كل هذا بجهاز الانقسام؟ لو ذاب الجهاز في الدوبانول أو المطهرات القوية الأخرى فإنه لابد أن ألياف المغزل والأصطرات لا تتكون من قنطرة ثنائي الكبريتيد، لذا بدأنا بفرض أن قنطرة ثنائي الكبريتيد في هذه التراكيب أقل من أن تعطيها المناعة الكافية. وراودنا الشك في هذا التخمين، وربما يكون هناك بعض الخطأ في هذه الفكرة، وأنه قد توجد كمية من قنطرة ثنائي الكبريتيد على هيئة مجموعة السلف هيدريل، ويمكننا تحويلها بعدئذ إلى القنطرة الحقيقية إذا ما أضفنا عاملا مؤكسدا، وعلى أساس هذا التفسير عالجنا البيض لفترة قصيرة بمحلول فوق أكسيد الأيدروجين قبل أضافة المذيب الصناعي.

وقد نجحت التجربة التي صممت على هذا الأساس، وذابت محتويات الخلية ما عدا جهاز الانقسام الذي بقي سليما. ثم فصلت الشوائب باستخدام القوة الطاردة المركزية التي ضبطت قوتها بحيث تدفع أجهزة الانقسام الثقيلة إلى القاع تاركة الشوائب في المحلول. وبهذه الطريقة أصبح في الإمكان جمع كمية كبيرة من أجهزة الانقسام في حالة نقية، وبكميات تكفي لاجراء التجارب التحليلية المختلفة لمعرفة تركيبها الكيميائي.

وقد أمدتنا دراسة هذه الأجهزة تحت الميكروسكوب بمعلومات هامة، ففي أي طور من أطوار الانقسام تستطيع أن تحصل على الأجهزة المستخلصة كاملة ومفصولة عن بقية مكونات الخلية، ويظهر فيها كل المركبات التي سبق ذكرها في وصف عملية

الانقسام. وهذا يدلنا على أن الخلية تصنع فعلا جهازا متكامل التركيب خاصا بعملية الانقسام. وقد جاءت التجارب التي أجريت على بيض **clam** أو تلك الخلايا التي تنقسم إلى أقسام غير متساوية بنتائج طريفة. فقد وجد أيضا أن الأصوات تختلف في الحجم، حيث يبقى الأصطر الكبير في الناحية التي تتكون فيها الخلية الكبرى. وتعضد هذه النتائج نظرية "دان" في كيفية تحديد مستوى انقسام الخلية.

وقد وصلنا الآن إلى بعض المعلومات عن كيمياء جهاز الانقسام إذ يتكون معظم هذا الجهاز من البروتين، كما توجد كمية صغيرة من حمض الريبونيوكليك، وبالطبع الكروموسومات. وقد حدد وزن الجهاز الواحد نسبيا، ووجد أنه يكون حوالي ٢٠% من وزن بروتين البيض في أثناء عملية الانقسام، وهذا طبعا يختلف باختلاف أنواع الخلايا.

إلى أي حد يمكن تصور حقيقة تكوين جهاز الانقسام كنتيجة لربط جزيئات البروتين بقناطر الكبريت والطريق المعقول لمعرفة هذه الحقيقة هو أن نحاول أن نعكس هذه العملية– ولو أن نجاح هذه التجربة لا يثبت في حد ذاته أن الفروض التي أدت إليها صحيحة، إلا أنها طريقة منطقية لاختيار هذه الفروض. فإذا اختزلنا مثلا نقاط الكبريت فإنها تتحول إلى مجموعات السلف هيدريل التي تذوب في المنظف الصناعي، وتشبه هذه التجربة تجربة جودارد وميخائيليس لإذابة الصوف، وقد استخدم نفس العامل المختزل وهو حمض لنيوجليكوليك. وقد نجحت هذه التجربة وذاب جهاز الانقسام بواسطة الحمض المذكور. وعلى هذا الأساس ظهر أن فكرة تكوين الألياف من قناطر الكبريت فكرة وجيهة. فإذا ما ذاب جهاز الإنقسام في المحلول فإنها فرصة لجمع معلومات أكثر. وباستخدام القوة الطاردة المركزية العالية، وجد أن معظم جهاز الانقسام يتكون من جزيئات بروتينية في حجم البروتين العادي (كزلال البيض تقريبا). ويمكننا على هذا الأساس اعتبار مثل هذه الجزيئات وحدة تركيب خيوط الألياف في جهاز الانقسام حيث تتصل بعضها ببعض بقناطر الكبريت.

ولو أننا علمنا الكثير عن جهاز الانقسام بعد فصله يفوق أكسيد الأيدروجين والدوبانول، إلا أن هذه النريقة مازالت تنقصها القة. فمن المعروف أن فوق أكسيد

الهيدروجين، مؤكسد قوى يؤدي استعماله إلى ظهور قناطر كبريتية غير عادية لم تكن موجودة بالخلية وهنا يجدد التساؤل.. هل نستطيع أن تستخدم منظفا صناعيا أقل قوة، يكفي لإذابة المواد الأخرى في الخلية تاركا جهاز الانقسام، وبذلك يمكننا الاستغناء عن فوق أكسيد الأيدروجين؟

وتوفرت الصفات المطلوبة في الديجيتونين الذي يحضر من جلد الثعلب العادي. وقد استخرج جورج والد من جامعة هارفارد هذه المادة منذ عدة سنوات في إذابة الأصباغ الخاصة بعملية الرؤية في العين **Visual pigment** دون أن يحدث فيها أي تغيير كيميائي.

وإذا وصلنا لهذه المرحلة آن لنا أن نعتبر جهاز الانقسام المفصول في أقرب الحالات إلى تركيبه الطبيعي، حيث يحتفظ الجهاز في هذه الحالة بأدق تفاصيله التركيبية سليمة. ومن مميزات هذه الطريقة أن الكروموسومات التي كانت رؤيتها صعبة، عندما تفصل بالطريقة القديمة أصبحت واضحة وسليمة. ولكننا لابد من أن نتسائل ثانيا: هل كان منطق هذا الفصل الناجح سليما؟فإذا كان جهاز الانقسام المفصول يحتوي على عدد أقل من مجموعات فلابد من أن يكون أكثر قابلية للذوبان من أجهزة الانقسام المحضرة بالطرق القديمة، وهذا ما ثبت بعد ذلك.

وعند هذا الحد تظهر لنا مشكلة جديدة عن كيفية تشكيل جديدة..كيف يتشكل إذن جهاز الانقسام في هذا التكوين الهندسي البديع ؟ إذا ما بحثنا عن إجابة لهذا السؤال عند علماء الميكروسكوبات القدامى، الذين كانوا يستمدون براهينهم من الصور التي يرونها في تلك الأجهزة، وجدنا أنهم لم يصلوا إلى أبعد من أن السنترويولات هي مراكز تكوين ألياف جهاز الانقسام. ولما كانت السنتريولات تأخذ أشكالا مختلفة في كل خلية، فدعنا نطلق عليها اسما عاما وليكن "المراكز" ويبدو فعلا أن الألياف تتبع وتنمو من هذه المراكز. ومنذ ذلك الحين لم تظهر أية نظرية أخرى في هذا المجال سوى فرض يفترض بأن بعض هذه الألياف التي تصل الكروموسومات بالأقطاب تنبع من الكروموسومات نفسها. وإذا ما ترجمنا هذه الصورة إلى لغة الكيمياء فإن شكل جهاز الانقسام يتحدد بنشاط مراكز تتكون فيها الألياف بوصل الوحدات بروابط ثنائي

الكبريتيد، وتصبح وظيفة هذه المراكز هي تهيئة الظروف التي تؤدي إلى مثل هذا التبلمر. وقد أيدت الأبحاث التي أجريت على أجهزة الانقسام الميتوسي المفصول بوساطة الديجيتونين هذا الاتجاه من التفكير. فإذا ما عرضنا جهاز الانقسام تعريضا خفيا لحمض الثيوجليكوليك، يذوب الجهاز تاركا الجزء الكروي المتوسط من الأصطرات. ولا يسعنا إلا أن نفرض أن هذا الجزء هو أقوى أجزاء البروتينات ارتباطا بقناطر **S. S**. بهذه المعلومات مازلنا فعلا بعيدين عن فهم الكيفية التي يصنع بها جهاز الانقسام.

وليس لنا أن نعتبر عملية الانقسام سلسلة من التحولات الكيميائية فهي عملية ميكانيكية ديناميكية، تتضمن الدفع والضغط والشدة. ما هي إذن الوسيلة التي تمكننا من دراسة مثل هذه المشكلة؟ وجد أن أكثر الوسائل دقة والتي أثبتت فائدتها في هذا المجال ما يسمى بميكروسكوب الاستقطاب **Polarization microscope** حيث تستطيع الجزيئات الموحدة الاتجاه، والتي تأخذ ترتيبا يميزها عن بقية الجزيئات التي تأخذ أماكنها كيفما اتفق، أن تغير من سرعة واتجاه الضوء المستقطب الذي يمر عليها. وترتيب الجزيئات ترتيبا موحدا، ليس إلا نتيجة لعمليات التكوين الهندسي التي تباشرها الخلية، أو نتيجة لضغوط ميكانيكية. ويقاس تأثير الوحدات المرئية في تركيب ما، بدرجة تأثيرها في الضوء المستقطب.

وتقاس بالفرق بين سرعة حزمة ضوئية مستقطبة تتذبذب موجاتها في مستوى موازلمحور المادة وسرعة حزمة ضوئية مستقطبة تتذبذب موجاتها في مستوى عمودي على هذا المحور. والمحور في مادة كالألياف الطولية واضح. أما في المواد ذات الترتيب غير التام، فإن كمية عدم الانتظام أو عدم التناظر فيها يمكن قياسها بقياس درجة تأثيرها في الضوء المستقطب. ففي حالة الألياف التي تتكون من وحدات رفيعة تزيد درجة التأثير في الضوء المستقطب كما كانت الجزيئات في ترتيب متواز، وتقل إذا ما نقص طول الجزيئات أو زاد سمكها لسبب من الأسباب.

وقد أدت الأبحاث الخاصة بمشكلة الانقسام إلى زيادة ودقة استخدام ميكروسكوب الاستقطاب إلى درجة زادت من أملنا في أن نصل إلى معلومات قيمة عن ترتيب

الجزيئات في جهاز الانقسام. ويمكن أن نتصور هذا الأمل ببعض الأمثلة. فمنذ عدة سنوات أثبت أحد العلماء الألمان وهو من أوائل المشتغلين بهذه المشكلة، ويدعى شميت أن المغزل الميتوسي له تأثير في الضوء المستقطب، وأن هذا التأثير يقل عند انفصال الكروموسومات، وهذا يدلنا على أن جهاز الألياف المغزلي يتكون من جزيئات متراصة في موازاة الألياف التي نراها. وهذه الجزيئات يختلف ترتيبها عندما تنفصل الكروموسومات وتبدأ الألياف في الانكماش. ولم تكن طريقة شميت تمتاز بحساسية تكفي لمعرفة التغيرات الصغيرة، ولكن سوان ومتشيسون توصلا حديثا إلى زيادة الحساسية لطريقة استخدام الميكروسكوب، حتى أصبح في الإمكان قياس التغيرات الطفيفة، وتسجيلها في حالة انقسام بيض ايرشن البحري. وقد ظهر أن الانخفاض في التأثير على الضوء المستقطب بعد انفصال الكروموسومات لا يحدث في نفس الوقت في جميع أجزاء جهاز الانقسام، إنما يبدأ بالقرب من الكروموسومات وتنتشر في اتجاه الأقطاب. وقد افترض سوان "أن هذا التغيرات التي تحدث في المغزل في أثناء انفصال الكروموسومات، تحدث بفعل مادة أو أكثر تكونها الكروموسومات". ويضرب هذا الفرض مثلا على القدرة في حل المشاكل العلمية باستخدم حقائق صغيرة. فطالما تساءل علماء الخلية واحتاروا في الطريقة التي تتحرك بها الكروموسومات في اتجاه الأقطاب، وهل تجذبها قوة معينة أو هي التي تقوم بتحريك نفسها؟ وقد بين لنا سوان في تجربته أن كلا من المغزل والكروموسومات يقوم بدور ايجابي في هذه الحركة.

وقد أدت الأبحاث الميكروسكوبية عن جهاز الانقسام إلى الشك في حقيقته، فمن قائل: إن اعداد الخلية في أثناء البحث قد يترتب عليه ظهور أجزاء لا تمت للجهاز بصلة حتى إنه في أحد الوقات كان يشك في حقيقة الكروموسومات نفسها، ولم يثبت صلتها بجهاز الانقسام إلا بمشاهدتها في الخلية في أثناء انقسامها. كما ثار الشك أيضا في ماهية آلياف الجهاز إلى أن أعلن كنيث كوبر من جامعة روشستر وآخرون رؤيتها في الخلية في أثناء الانقسام. وفي رأي المؤلف أن ميكروسكوب الاستقطاب قد حل هذه المشاكل. فقد قام أحد الخريجين الجدد ويدعي شنياء انبو بتصميم ميكروسكوب

استقطابي يستطيع أن يقيس درجات صغيرة جدا من التأثير في الضوء المستقطب، لم يكن من السهل قياسها من قبل في المواد البيولوجية. وقد درس بهذا الجهاز أشكال جهاز الانقسام في أنواع متعددة في الخلايا الحية، وفي كل حالة استطاع أن يكشف وجود ألياف المغزل بطريقة واضحة. إذ أن هذه الألياف التي لا تميز عن الوسط المحيط بها إلا بصعوبة في الضوء العادي، أصبحت شديدة الوضوح إذا ما شوهدت في الضوء المستقطب حيث تمتاز بترتيب معين في جزيئاتها.

وقد يتساءل القارئ هنا عن مدى المساعدة التي يمكن أن يقدمها لنا الميكروسكوب الإلكتروني في هذا المجال. ونجيب بأن المواد الحية لا يمكن فحصها بهذا الميكروسكوب لأن حزمة الإلكترونات الي تسقط على المادة التي يراد فحصها لابد وأن تمر في الفراغ، لهذا تتعرض نتائج الميكروسكوب الإلكتروني لجدال شديد، إذ أن هذه الظروف قد تعرض جهاز الانقسام لبعض التغيرات.

وقد تنبأ المشتغلون بالميكروسكوب العادي بتلك المتاعب التي ستصادف مستخدمي الميكروسكوب الالكتروني، وتنحصر هذه المتاعب في أن عملية الرؤية لشيء ما تعتمد على الفرق بينه وبين الوسط المحيط في الكثافة، واستخدام الميكروسكوب الإلكتروني قد يمدنا بقوة تكبير كبيرة، إلا أن الفرق بين كثافة المادة المراد دراستها وكثافة الوسط المحيط بها لن تتغير. وهذا ما حدث فعلا عند فحص جهاز الانقسام في خلية ما، بالميكروسكوب الإلكتروني، إذ ظهر وكأنه لا يتميز بشكل ما. ولكن عندما فحص جهاز الانقسام بعد فصله بعيدا عن الخلية ظهر من حقيقة تركيبه الكثير. وقد صورت بانريشيا هاريس من معمل المؤلف، جهاز الانقسام الذي ظهر فيه، حتى باستخدام القوة المكبرة الصغيرة التي كانت تستخدم في ذلك الحين، تفاصيل مهمة. فقد ظهر مثلا أن ألياف المغزل لا تمتد من أحد القطبين للآخر في استقامة، إنما تتكون من التحام ألياف أحد الأقطاب بالآخر في وسط الخلية، وكما تصور العلماء لم يكن المظهر الليفي للمغزل نتيجة لألياف واضحة منفصلة، على أننا لا ندري من الآن نتيجة باستخدام القوة المكبرة العالية للميكروسكوب الإلكتروني.

وإذا أمعنا النظر في دنيا الأحياء وجدنا أن عملية الانقسام الميتوسي هي الوسيلة المتبعة في نقل الصفات الوراثية، وأن أهم ما في هذه العملية هو تكوين طبقة من كروموسومات مزدوجة ومغزل، يرشد كل نصف فيه أحد أنصاف الكروموسومات في الطريق إلى أحد نصفي الخلية، حيث يكون كل نصف منهما خلية جديدة. وتوجد بعض أنواع الانقسام التي تشد عن هذه الصورة قليلا، ففي نمو العضلات مثلا قد تنقسم النويات دون أن يتكون حول كل منها جدار، وتتناسب الزيادة في حجم العضلة بزيادة عدة النويات، منتجة خلية ضخمة متعددة النويات. وفي أحوال أخرى، تنقسم النواة عدة مرات ثم تحاط كل خلية بجدار مكونة عددا من خلايا بعدد النويات. ولهذه العملية أهمية عملية كبيرة في تكون الجراثيم المعدية في كثير من الكائنات الحية الدقيقة. كيف إذن تتكون هذه الخلايا دون ارشاد جهاز الانقسام الميتوسي؟ لا نعلم عن هذه العملية شيئا.

وكما ذكرنا سابقا، لم نستطع رؤية الأصطرات في كثير من الخلايا وبخاصة النباتية، ولم نستطع أن نرى أيضا تلك المراكز التي تهاجر إليها الكروموسومات النباتية، وفي بعض الحالات مثل انقسام الكرات الدموية البيضاء، وغيرها من الخلايا التي لها القدرة على الحركة لأمينية، يحدث الانقسام في نفس الوقت الذي تباشر فيه الخلية حركاتها الحيوية. وكان الاعتقاد السائد في جميع أنحاء العالم عن هذا النوع من الانقسام، هو أن الخلايا الناتجة عندما يكمل تكوينها، تقرر الانفصال عن شقيقتها، وتبدأ كل منهما في الزحف في ناحية مختلف فيحدث الانقسام. وقد وجد أن معظم الكائنات وحيدة الخلية تقوم بالانقسام بطريقة غريبة، لا يتحطم فيها سطح النواة. ويتكون المغزل داخل النواة التي تستطيل عند انفصال الكروموسومات، وأخيرا بقسمها اختناق الوسط إلى قسمين. وفي مثل هذا الانقسام لا تستطيع أن تميز الأصطرات ولا جهاز الانقسام خارج النواة، وتظهر الخلية وكأنها تعرف مقدما مكان قطر هذا المغزل الغريب، حيث يحدث فيها ذلك الاختناق الذي يفصلها من الوسط. وفي بعض الحالات الأخرى. كما في خلايا أمعاء البعوضة وبعض الخلايا النباتية، يحدث انقسام ميتوسي داخلي حيث لا تنقسم الخلية، بل لا تنتقل الكروموسومات في نويات جديدة، وكل ما يحدث هو انقسام

الكروموسومات في بساطة حيث تبقى كما هي في نفس النواة.

وتمتاز طبيعة العالم الحي بالاستمرار في النمو في حدود القدرة على التقاط المواد الخام من العالم الخارجي غير الحي. فإذا نظرنا إلى حياة الكائنات الحية وجدنا أنها لا تزيد على فترة راحة من عملية انتشار النوع. فالخلية لا تزيد من خزينها الحيوي في عملية الانقسام إنما يحدث هذا بين كل عمليتين. وفي الكائنات الحية الراقية تحد عملية الانقسام بالتحور وتكوين الأعضاء. فبعد تكوين الجنين تأخذ سرعة عملية الانقسام في النقصان، حتى تأخذ خلايا الكائن الحي شكلها المعين الذي يؤهلها لتخصص ما. وإذا ما عكست هذه الخطوات في مجموع من الخلايا البالغة ينتج مرض السرطان. ما الذي إذن يدفع عملية الانقسام الميتوسي وما الذي يوقفها؟ ليس لدينا ما نجيب به عن هذا السؤال سوي بضع حقائق متناثرة. فالمعروف عموما أن الخلية لابد أن تصل إلى حجم معين قبل أن تنقسم. فإذا ما أنقصنا مثلا حجم الخلية الأميبية، كلما زاد بحيث يمنعها من أن تبلغ حجمها الكامل، فإنها لا تستطيع الانقسام أبدا. كما نعلم مما سبق أن عملية الانقسام ليست سوي عملية فصل الكروموسومات التي سبق أن انقسمت، ومن ذلك تستطيع أن تقول/ أن العامل الذي يتحكم في عملية الانقسام ليس إلا العامل الذي يسيطر على انقسام الكروموسومات.

ما الذي يمكننا إذن عمله لوقف الانقسام دون أن تقتل الخلية؟ أن لنا في ذلك عدة طرق. أحداهما هي أن نوقف عملية صنع حمض النيوكلييك الذي يكون الكروموسومات. وهذا ما يحدث إذا ما تعرضت الخلية لكميات خفيفة من أشعة أكس أو غيرها من الاشعاعات المؤينة التي يمكن للخلية أن تحتملها. إذ تستطيع كميات أكثر من أشعة أكس أن تفسد عملية الانقسام نتيجة لتحطيم الكروموسومات وكل ما نعلمه عن الفعل الحيوي لأشعة اكس هو في تكوين وسلامة الكروموسومات.وتسمى المواد الكيميائية التي تزيد من هذا الفعل بالراديو ميمتيك **Radiomimetic**. أما جهاز الانقسام فلا يتأثر كثيرا بتلك الاشعاعات المؤينة، بينما يتأثر بعده مواد كيميائية، مثلا مادة الكولشيسن وهي إحدى المستخلصات النباتية التي تمنع تكوين مغزل الانقسام

ولكنها لا تؤثر في الكروموسومات. وقد استخدمت مثل هذه المواد المضادة للانقسام الميتوسي بنجاح في عمليات التسكين الوقتي **Palliation** للسرطان، ولكنها لا تشفيه، كما نجحت في عمليات تربية الكائنات الحية، وبخاصة النباتية الصالحة للأكل، والتي يراد تحويلها إلى أخرى تحتوي على ضعف عدد كروموسومات النبات الأم. وقد أصبح من الواضح أن السيطرة على عملية الانقسام لن تتأتى لنا إلا بعد فهم هذه العملية نفسها.

ويحتوي علم الحياة على بعض التعميمات التي لها من الصحة ما يكفي لأن نطلق عليها لفظ قانون. ولمعظم هذه التعميمات حالات شاذة، ولكن التعميم الذي لم يظهر له أي شذوذ، هو أن الخلية لابد أن تنشأ من خلية أخرى. وتظهر الحكمة في هذا التعميم عندما نعرف أن أساس عملية الانقسام، هو انتقال نفس عدد الكروموسومات من الخلية الأم إلى الخلايا البنات.

وقد توصل العلماء من زمن بعد إلى أساس عملية الانقسام من المشاهدات الميكروسكوبية فقط، أما الآن فقد استطعنا أن نتوغل إلى فهم أعمق لما يدور داخل الخلية المنقسمة، ولم يبق أمامنا إلا أن نعلم تلك الطريقة التي يتكاثر بها الكروموسومات نفسها، سواء من مجهودات المشتغلين بانقسام الخلية أو المشتغلين بتكاثر الفيروسات. ويظهر لنا مما سبق أيضا أن بعض أنواع الانقسام لا يمكن تحليلها بالطرق المتبعة. هل لنا الحق الآن في أن نسأل كيف ترتب الكرموسومات نفسها في مستوى هندسي قبل أن تنقسم؟ وكيف تعرف الكروموسومات المنقسمة طريقها إلى الأقطاب؟ أن هذه الأسئلة لتوحي لنا بأننا أمام نوع جديد من المشاكل لا يحل باستخدام الطرق المألوفة، ولا يصلح لحلها طريقة تصورنا لأحداث الحياة، فبينما تتقدم كثيرا في كيمياء الخلية ينقصنا عنصر هام جدا. ألا وهو كيف يعلم كل جزء من الخلية بمكانه فيها؟

تخليق الخلايا

ك. هـ. واد يجتون

كيف يحدث هذا ؟ خلية البيضة الملقحة ، وهى كتلة متناهية فى الصغر من بروتوبلازم لا يحتوي على مركبات ما، يمكن أن تتحول الى رجل، له عينان وأذنان وذراعان ورجلان، وقلب وعقل؟ كيف تعطى خلية عادية ملايين الخلايا المختلفة التكوين والاختصاص لتكون الإنسان؟ هذا اللغز، وهو عملية لا بد وأن يكون أحد الأسئلة المحيرة في علم الحياة. إن عملية تخليق الخلايا من العمليات التي طالما أحاطتها رهبة الأسرار، إذ لا تستطيع سوى ظواهر معدودة من دنيا المادة أن تساعدنا في تصورها. فليس من المعتاد أن نرى شيئًا تتغير أجزاء كتلته تدريجيًا حتى تأخذ أشكالاً مختلفة، وفي نفس الوقت الذي يحدث هذا كقانون في دنيا الأحياء، إذا استثنينا منذ حوالي نصف قرن وعلماء الحياة يجاهدون في الإجابة عن هذه الأسئلة بوسيلتين: علم دراسة الأجنة الحديث وعلم الوراثة. فهم يدرسون تطور الأجنة من ناحية وكيفية تحكم الجينات في هذا التطور من ناحية أخرى. ولنبدأ بعرض الوسيلة الأولى وهي دراسة الأجنة.

كان يتنازع هذه المشكلة منذ أمد بعيد، نظريتان إحداهما لأرسطو في القرن الرابع قبل الميلاد: تتخلص في أن الأعضاء تتكون تدريجيًا من تفاعلات بين الأجزاء أو المكونات البسيطة الموجودة في البيضة بوساطة ما سماه أرسطو بعملية الجنسيز **Epigenisis** التي تتضمن اتحاد كل من الذكر والأنثى. وكانت هناك مدرسة أخرى تعتقد أن البيضة الملقحة حديثًا لابد وأن تحتوي على كل أعضاء الحيوان، وأن هذه الأعضاء لا ينقصها إلا النمو لتعطي الحيوان الكامل.

وعندما أجرى البحاثة الحديثون تجاربهم على أجنة الحيوانات ظهر لهم ما يؤكد كلتا

النظريتين القديمتين. فإذا قطع بيض حيوان بسيط إلى نصفه أو أزيل جزء من البيضة وترك الباقي لينمو، أعطت مثل هذه البيضات، في بعض الحيوانات، حيوانات بالغة ينقصها جزء معين. وكأن هذا يعني أن البيضة تحتوي على أجزاء، كل منها يعطى عضوًا ما. على أن هناك تجارب أخرى أعطت فيها مثل هذه البيضات حيوانات بالغة كاملة، ومن هذا ظهر أن التفاعلات الجينية قد قامت بوظيفتها كما افترض ارستوطل.

وقد كان العالم الألماني هانز سبيرمان أول من قام بدراسة مثل هذه التفاعلات دراسة دقيقة. وقد قام بتجاربه على بيض حيوان نيوت "**newt**" العادي. وأول ما ظهر عندما أخذت هذه البيضة تتطور هو انخفاض صغير يسمى البلاستوبور "**blastopore**" وهو الذي يعطى معظم الأمعاء الدقيقة. وقد قطع سبيرمان هذا الجزء وألصقة في بيضة ثانية في مكان مختلف، فوجد أنها لم تنم فقط بل أخذت تؤثر في الخلايا المحيطة أيضًا، وأعطت بعد ذلك الجهاز العصبي المركزي والأجزاء المنقرضة من العمود الفقري.

وتعطي هذه التجربة مثلاً قاطعًا للتفاعلات بين مكونات الخلية التي فرضتها نظرية الابجنسيز. وقد سمى سبيرمان منطقة البلاستوبور بمنظم الجنين. وقد اكتشفت بعد ذلك منظمات مماثلة في كثير من أسر الفقريات الأخرى تشبه هذا المنظم الذي اكتشفه سبيرمان في حيوان السلاماندر. وقد ظهر أن هذه المنظمات تباشر عملية تكوين محور الجنين الرئيسي وكثير من الأعضاء الثانوية التي تليه في التكوين كالأذن والأنف وعدسة العين....إلخ. وتوجد منطقة المنظم في بعض الأحوال في شكل ظاهر محدود بدقة، وقد تكون في بيضات أخرى فير واضحة التحديد حيث يحدث التفاعل بطريقة متدرجة يظهر فيها أحد الطرفين أقوى من الآخر. ولكن في كلتا الحالتين تتحدد عملية تطور الأعضاء نتيجة لتفاعل جزء قوى من البيضة مع الأجزاء التي تحيط به.

وإلى هنا يمكننا أن ننظر إلى أي عضو من وجهتين: فهو يتكون أولاً من أنسجة معينة تنتج عن عملية تخليق الخلايا، ولكن هذه الأنسجة لا بد وأن ترتب ترتيبًا نسبيًا ليظهر العضو في شكله الخاص، وبالطبع ليس العضو إلا تعبيرًا عن نوع الأنسجة التي تكونه. ولكن هناك فرقًا بين تكون نسيج معين، وعملية تحور الأنسجة المختلفة في

شكل تركيب عضوى خاص. وقد تركزت الأبحاث الحديثة على وجهة النظر الأولى من هذه المشكلة، ألا وهي طبيعة العمليات الكيميائية التي تتخلق بها الخلايا الجنينية.

وقد كان من الطبيعي أن نفترض عمل المنظم على أنه وحدة حية، ولكن ظهر سنة ١٩٣٢ أن المنظم يستطيع أن يؤثر في الوسط المحيط به حتى بعد قتله. وقد قام بهذا الاكتشاف مجموعة من البحاثة الألمان كان بينهم جوها هولت فرتر الذي يعمل الآن في جامعة روشستر في أثناء تجارهم على جنين النيوت. وقد وضعتنا هذه التجربة عند مفترق الطرق لتبين أن فعل المنظم في عملية التطور قد يكون نتيجة لبعض المواد الكيميائية التي يمكن استخلاصها منه. وقد حاول عدد كبير من البحاثة معرفة هذه المواد، ولكنهم كانوا يبنون آمالا عريضة على تصور بسيط لهذا الموقف. ولم تكن المشكلة هي الوصول إلى مادة تستطيع أن تقوم بعمل المنظم في قيادة عملية تخليق الخلايا، ولكن المشكلة كانت في كثرة تلك المواد التي تستطيع ذلك. خلال سنة أو سنتين أثبت جوزيف نيدهام وجين براخت والمؤلف بصورة قاطعة أن مادة الميثيلين الأزرق التي لا يمكن تصور وجودها في الجنين العادي تستطيع أن تسبب تكوين النسيج العصبي إذا ما حقنت في الجنين. ويظهر من هذا أنه من العبث البحث عن مادة معينة في هذه الخلايا كحل لفهم عملية التطور. فمكان دراسة عملية التطور هي الأنسجة المتفاعلة التي تسبب فعلاً هذه العملية. وتستجيب الخلايا لأثر المنظم المنبه في فترة معينة من فترات التطور، ويقال عنها في هذه الحالة: أنها مستجيبة. ولا يوجد طريق للتعمق في ما هية التكوين إلا بفهم أوسع لعملية الاستجابة.

وتلعب جينات الوراثة دورها في تلك المرحلة التي تستجيب فيها الخلايا للتخليق في عملية معقدة تتضمن أجهزة كيميائية مختلفة، وما نعمله هو أن كلا من الجينات التي تحملها نواة الخلية يتحكم في تكوين واحدة أو أكثر من المواد التي تصنعها الخلية في تطورها. لذا فإن تلك العمليات التي تتحكم فيها الجينات لابد وأن تكون هي نفسها التفاعلات التي تسبب استجابة الخلايا للمنظم. ومما سبق يخرج لنا السؤال الآتي: ما طبيعة تلك التفاعلات التي يسببها كل من هذه الجينات؟ وقب أن نناقش إجابة هذا السؤال لابد

من توضيح نقط أخرى لا تقل أهمية، ولكننا نستطيع أن نتوصل إليها بسهولة.

أمامنا الآن جهاز مصغر من التفاعلات التي تبدأ في كل جين وتنتهي ببناء الكثير من الأنسجة الكثيرة في الحيوان البالغ– هل هناك صفات عامة تميز هذا الجهاز كوحدة؟

أحد الصفات العامة المهمة في الحيوان البالغ هي أنه يتكون من أعضاء مختلفة كل منها يتكون من أنسجة محددة بحدود واضحة. فالكبد مثلا لا يتغير نسيجها تدريجيًا ليدخل في تركيب نسيج البنكرياس أو غيره من الأنسجة الأخرى، كما أن الخلايا تتطور إلى نوع واحد معين ولا تمر تدريجيًا في أنواع مختلفة. ويظهر التحديد النوعي للخلية ثابتًا حتى في الحالات التي يكون فيها التطور قد اجتاز مرحلة غير عادية. فمثلاً لو قطعنا أجزاء من الجنين أو أجرينا بعض التغييرات التجريبية فيه فإن الجنين يعطي حيوانًا كاملاً بالرغم من ذلك. وهذا يعنى أن التحور يلزمه التنظيم حتى يعطى أجهزة واضحة.

فيلزمنا مثلاً جهاز من العمليات لتنظيم التطور في تكون النسيج العصبي، وعمليات أخرى لتكوين الكبد أو الكلية أو غيرها من أنسجة الجسم المختلفة. وزيادة على هذا لابد لكل جهاز من ضمانات كافية تضمن تطوره إلى شكله النهائي، حتى لو اضطر لسلوك طرق غير معتادة.

ومن هذا تظهر لنا الحقائق التي يمكن الاعتماد عليها، فأحد مهام علم الأجنة الرئيسية الآن، هو تقصى الطرق التي تؤدي إلى تكوين الأجهزة المختلفة، وهناك طرق عدة يمكننا أن نتبعها في تقصى الطرق المختلفة التي تسلكها هذه الأجهزة في تكوينها. فمثلاً إذا كانت المواد الناتجة من التفاعل تساعد على زيادة سرعة التفاعل، أي أن العملية تساعد نفسها تلقائيًا، فيمكننا أن نعتبر أن تكوين مثل هذا المركب سيدفع العملية في الاتجاه المطلوب وبهذا يبعد احتمال تغيير اتجاه العملية. وقد يحدث أن يثبط أحد المواد الناتجة من تفاعل معين تفاعلاً آخر، أي أن هذا التفاعل يقف بمجرد تكون تلك المادة. وأنه من السهل أن نصل إلى مثل هذه الفروض عن طريق التفكير المنطقي، ولكننا في حاجة إلى أن نعززه بدراسة نظرية لمختلف التفاعلات التي تحدث بين هذه

العمليات المختلفة. كما تحتاج أيضًا لتحليل عملي لعملية التحور، حتى نطابق عليه هذه التفسيرات النظرية ونثبت صحتها من هذا التطابق.

وفي المجال الهندسي نستطيع أن نجد كثيرًا من الآلات التي نستطيع أن تقوم بعملية الذاتية، التي يمكن مشابهتها بتلك القيادة الذاتية التي تحدث في تحور الجنين، كبوصلة السفن الأوتوماتيكية مثلا، والجهاز الذي يقود الطائرات أوتوماتيكيا إلى غير ذلك من الأجهزة، التي تستطيع أن تقوم بعملها من غير تدخل الإنسان، والتي أصبحت من مميزات التقدم في العصر الحديث، وقد أطلق عليها اسم ذاتية التوجيه. وفي تطور الخلية لابد وأن تتعامل مع أجهزة كيميائية ذاتية التوجيه. إذ أن خواص الأنزيمات الحيوية تسمح لمثل هذه الأجهزة بأن تسلك اتجاهات كثيرة، ما زلنا نعلم عنها القليل. ويظهر أنه من الأرجح أن تجرى الأبحاث اللازمة لفهم هذه الأجهزة على مواد كيميائية معزولة لا يظهر عليها لأول وهلة ما يربطها بعلم دراسة الأجنة.

وقد رأى المؤلف أن يرسم لعملية التحور الخلوى صورة ميكانيكية تتحرك فيها تلك الأجهزة التي تؤدي إلى التحور، فكل يؤدي إلى نتيجة معينة، وله في نفس الوقت ضابط واق يضمن عدم خروجه عن خط سيره. وتمثل الخلايا، في هذه الصورة، لمجموعة من الكرات فوق قمة منحدر، ويحمل المنحدر على سطحه عدة طرق تؤدي إلى وديان منخفضة. وإذا ما أخذت هذه الكرات في الانحدار فلا بد لها من أن تسلك إحدى هذه الطرق، ويحدد الطريق الذي تسلكه كل كرة مكانها النهائي الذي ستصل إليه، وحتى لو صادفت أحدى الكرات عائقًا في طريقها فإنها ترتفع قليلاً حتى تتخطاه، ثم ترجع ثانية إلى نفس الطريق لتكمل طريقها إلى واديها الذي ستستقر فيه.

ولنرجع الآن إلى مهمتنا الرئيسية الثانية ، وهي الدراسة التفصيلية للعمليات الكيميائية التي تجرى في الخلية من بدايتها الجنينية حتى الصورة النهائية المتحورة. ومنذ أن اكتشف أن كثيرًا من المواد تستطيع أن تقوم بعمل المنظم في عملية تحور الخلايا، افترض كثيرون أن عملها لا بد أن يكون عن طريق ثانوي. فلو كانت الخلايا الجنينية تحتوي على مادة تستطيع أن تقود التحور إلى تكوين النسيج العصبي مثلاً، فقد تكون

هذه المادة في باقي الخلايا مغطاة أو مثبطة، وإن إنطلاقها يكون نتيجة لنوع معين من أنواع التمثيل الغذائي الخلوى، ولذا فإن صفات المنظم ترجع أساسًا إلى نوع عملية تمثيله الخاص في الخلايا. وتعقبًا لهذه الفكرة قام الكثير من البحاثة في قياس قابلية هذه المواد للتمثيل في أجزاء مختلفة من البيض، حيث وجدوا أن لهذه المواد صفات تمثيلية ثابتة في جميع أجزاء البيضة، وأصبح من الواضح أن لها دورًا أساسيًا في نشاطها التحوري.

فقد وجد مثلاً أن في بيضات ارشن البحر تكون أجهزة التحور في أعلى نشاطها في الجزء العلوى من البيضة، ثم يأخذ نشاطها في النقصان حتى يصل إلى أقله عند الجزء السفلي منها، وأن المسئول عن هذا التغيير في النشاط هو نشاط عمليات التمثيل الخلوى، الذي يؤثر بدوره على النشاط التحوري.

ليست. إذن. الأجنة والبيضات إلا أجسامًا دقيقة، وإن هذه الحقيقة لتمثل صعوبة كبيرة أمام الطرق العملية لدراسة عملية التمثيل فيها ، ولذا صممت عدة أجهزة ذات حساسية عالية يمكن بها دراسة هذه الكميات الصغيرة من المواد، ومن أكثر الأجهزة ملاءمة لمثل هذه الدراسات الجهاز المعروف بالغاطس الكارتيزى **cartasian diver**.

هذه اللعبة القديمة، التي لا تظهر لها علاقة بالفيلسوف الفرنسى ديكارتر والتي سميت باسمه ما هي إلا وعاء متناه في الدقة من الزجاج ذو عنق مفتوح، وتوضع قطرة من الزيت في هذا العنق، ويغمس الجهاز كله في وعاء به ماء. وإذا ما غطس الجهاز في الماء يضغط الماء على نقطة الزيت التي تضغط هواء الوعاء إلى حجم أصغر، وهذا يؤدي إلى أن يغطس الوعاء أكثر في الماء. ويمكننا أن نجعله يرجع إلى مستواه الأول إذا ما أنقصنا الضغط الجوى المحيط به.

وإذا ما وضعنا في الوعاء قطعة صغيرة من نسيج خلوى، تستهلك الأكسجين أو تنتج ثاني أكسيد الكربون، فإنها ستغير الضغط الداخلي في الوعاء، وبذا تغير وضعه في المحلول. ويمكن إرجاعه ثانية إلى وضعه الأصلى بتغير الضغط الخارجي، ويمكننا قياس هذا التغيير واعتباره متناسبًا مع عملية التمثيل في النسيج الخلوى .

وقد أمدنا استخدام هذا الجهاز بالكثير من المعلومات الخاصة بعملية التنفس والتمثيل في الأجزاء المختلفة من البيضة، ولكن للأسف لم تكن هذه المعلومات من النوع الذي يؤدي إلى فهم عملية تحور الخلايا، وتتميز الخلايا المحورة فيما بينها بمحتواها البروتيني. ومازلنا لا نعلم إلا القليل عن عملية تكوين البروتينات، ولم تتقدم بعد الأبحاث الخاصة بعملية تكوين البروتينات الخاصة بالأجنة.

وكما هي الحال في المشاكل البيولوجية الأخرى، قد يظهر حل هذه المشكلة باكتشاف مواد يسهل إجراء التجارب عليها. والشكوى العامة في علم دراسة الأجنة في الوقت الحاضر، هي تعقيد المواد التي تجرى عليها التجارب، فبدلاً من دراسة تحور الخلايا إلى النسيج العصبي أو نسيج الكبد مثلاً، وكل يحتوي على مجموعة كبيرة من المواد، يمكننا دراسة التحور في إحدى هذه المواد بمفردها. وبدلاً من أن نفكر في نقل كتل من المواد من جزء في الجنين إلى جزء آخر يمكننا أن نجرى تجاربنا على أحد مكونات الخلية. ولم نستطيع حتى الآن الوصول إلى مادة تجريبية مناسبة نستطيع بها أن تتعقب عملية صنع نوع معين من البرووتينات تعقبًا كميًا ودراسة تأثير فعل العوامل المختلفة على هذه العملية.

ولا نستطيع أن ندرس الوجهة الوراثية في عملية التحور لهذه الوسائل، ففي علم الوراثة نستطيع أن ندرس بسهولة أي نوع من أنواع الوحدات التي تؤثر في عملية التحور، وذلك عن طريق دراسة الجنين. وقد ظهر حديثًا اتجاه مهم في علم الوراثة، وهو محاولة ربط الجينات بتلك المواد الخاصة التي يرجع تكوينها إلى وجود الجينات. ففي الأبحاث التي سبق ذكرها لجورج بيدل، ظهر أن الكائنات الحية الدقيقة كالخميرة أو الفطر، تلك التي لها جسم بسيط مجهز بأجهزة كيميائية حيوية أبسط من تلك الموجودة في الحيوانات الأكثر تعقيدًا، إذا تغير أحد الجينات فيها فإن هذا يؤدي إلى تغيرات في أحد المكونات الكيميائية في الخلية- يكون عادة هذا الشئ الكيميائي أنزيما ما..أي أحد العوامل المساعدة الحيوية الذي يتوقف عليه استمرار الخلايا في أداء وظائفها. والاحتمال كبير في أن الجينات تباشر عملها من خلال تأثير هذه الأنزيمات، وتدل

التجارب التي أجريت على الكائنات الحية الدقيقة أن كل جين يؤثر في أنزيم معين، ولذا يصبح منطقيًا أن نقول: إن كل جين يصنع أحد الأنزيمات ولو أنه من المؤكد أن تلك الحقيقة ليست بهذه البساطة فقد تكون هناك عدة خطوات تفصل الجين عن الأنزيم، وقد تقوم بعض المواد كناقل ينقل تأثير الجينات إلى الأنزيمات، وبهذا يصبح تعاملنا مع جهاز كيميائي لا يتخلف كثيرًا عن تلك الأجهزة التي سبق ذكرها.

ولا تفيدنا في دراستنا للتحور الخلوي تلك الأبحاث، التي أجريت على الكائنات الحية الدقيقة، فالكائنات الحية الدقيقة هي أقل الأحياء تحورًا. وفي بيضة الحيوانات تباشر الجينات عملها، كما هو معروف بتفاعلها مع الأجزاء المحيطة بها من سيتوبلازم البيضة، أما في الكائنات الحية الدقيقة فلا يظهر أي نوع من التخصص لإجزاء السيتوبلازم وقد سبق أن توصل علماء الكيمياء الحيوية وعلماء الوراثة إلى أن الخميرة لا تستطيع على وجه العموم أن تكون "أنزيمات التأقلم" لسكريات معينة إلا إذا كان لها قدرة وراثية على ذلك، لأن مثل هذه العملية تعتمد على وجود جين معين، وأن هذا الجين لابد من أن ينشط بوجود هذا السكر. ومن هنا لنا الموقف كما تصورنا حدوثه، عندما ينشط جين معين في منطقة معينة من سيتوبلازم البيضة. وحيث أن كلا من أنزيمات التأقلم ما هو إلا بروتين خاص، فقد عثرنا على فرصة لدراسة العوامل الطبيعية والكيميائية المؤثرة على تخليق هذا البروتين. ويتابع الآن هذه الفكرة كثير من العلماء بأبحاثهم، ومنهم سير سيريل هنشيوود من جامعة أكسفورد، وسول سيجلمان من جامعة اللينوس، وجاكس موفود من باريس.

وقد استنبطت، من تلك الدراسات على البروتين، فكرة وجيهة، هي أن بين الجين والأنزيم في صورته النهائية قد تتكون مواد متوسطة، والتي إذا ما تكونت تستطيع أن تكرر نفسها على الأقل لوقت ما، حتى لو أزيل الجين الذي هو سبب وجودها. وقد نشر بعض العلماء منذ قليل أنهم توصلوا إلى براهين تثبت وجود مثل هذه المواد، وقد سميت بأسماء مختلفة كجينات البلازما وجينات السيتوبلازم.. إلخ. ولكن ظهر من الأبحاث التي جاءت بعد ذلك في كثير من الحالات أن تلك البراهين لم تكن من القوة

كما كان يظن، وأن مادة جينات البلازما المقترحة لم تكن سوى جسيمات فيروس عريب، أو شئ قريب منه. كما ظهرت في بعض الحالات الأخرى أدلة مقنعة، على وجود جسيمات تشبه جينات البلازما. ومن أشهر هذه الحالات تلك التي ظهرت في البراميسيوم الصغير. ففي هذا الكائن الوحيد الخلية كونت الخلية مواد معينة عرف وجودها بأنها لو حقنت في الأرانب تسبب تكوين مواد مضادة معينة. ويتحكم في تكوين جينات البلازما جينات النواة، وتتأثر النواة بحالة سيتوبلازم الخلية التي يمكن تغييرها، بأن تضع الحيوان وهو ينمو في درجات مختلفة من الحرارة. وقد وجد أن في كل حالة تغير فيها حالة السيتوبلازم ينشط جين معين لصناعة بلازمية خاصة وهذه تؤدي بدورها إلى بناء مكونات الخلية النهائية.

ومن المحتمل أن يحدث مثل ذلك في تطور الجنين، إذ يمكن أن نفترض أن الأجزاء المختلفة من البيضة تنشط مجموعات خاصة من الجينات في النوايا التي تدخل فيها، وتكمل الجينات المنشطة مباشرة عملية التحور الخلوى في خطوات، قد يكون أولها تكوين نواتج أولية من الجينات، التي قد لا تملك القدرة على تكرار نفسها كجينات البلازما. وقد عارض براخت هذا القول، وهو أحد علماء الأجنة البلجيكيين، وافترض أن تلك الجسيمات الدقيقة التي تشاهد في الخلية، والتي تدعى الميكروسومات، هي نفسها جينات البلازما، وهذه الجسيمات التي ترى بالمجهر العادي يمكن فصلها عن بقية الخلية باستخدام القوة الطاردة المركزية العالية. وقد اعتبرها براخت أو نواتج عملية صنع البروتينات في السيتوبلازم، وتخضع في عملها للجينات النووية. وينقصنا حتى الآن إثبات قاطع لهذا الرأي. ونحن في أشد الحاجة لأن نتوصل إلى طرق تسمح لنا بدراسة عميقة لتلك العلاقة التي تقوم بين الكروموسومات والنواة. نريد مثلاً أن نفصل الميكروسومات من الخلية ونزرعها في خلايا أخرى، ونرى هل سيتغير تحورها أو لا؟

والجينات التي تدعى جينات البلازما، والجينات التي تدعى جينات الميكروسومات لا بد وأن تكون المكان الذي سيتلاقى فيه كل من علماء الوراثة وعلماء الأجنة. وسيظهر في هذا التلاقى الحمضان النوويان الديزوكسى ريبو نيو كلييك وحمض الريبو

نيو كلييك، فهما دائمًا موجودان في تلك الأجزاء الخلوية المختصة بإنتاج مواد جديدة، ومن المحتمل أن أحدهما عامل أساسي في صنع البروتينات ويظهر بشكل واضح أن مادة DNA التي توجد في الكروموسومات، وهو المكان الذي تسكنه الجينات، لابد وأن يكون قريب الاتصال بالجينات نفسها، وهي التي تحتوي على البروتينات. وتوجد مادة RNA في تركيزات عالية دائمًا في تلك الأجزاء السيتوبلازمية التي تجرى فيها عملية صنع البروتينات بسرعة. ففي الكروموسومات مثلاً توجد كميات كبيرة من مادة RNA بينما تحتوى على كميات قليلة أو معدومة من مادة DNA

وتقول إحدى النظريات الحديثة: أن الكروموسومات التي تحتوي على مادة DNA تقوم بصنع مادة RNA التي تخرج من النواة إلى السيتوبلازم حيث تلتصق بالكروموسومات، وتقوم بدورها في صناعة الروتين الخلوي.

وهنا نصل إلى حدود منطقة لم تكتشف بعد، ولا نعلم عنها شيئًا وقد نجامل أنفسنا قائلين: أن أبحاثنا أصبحت تحيط بسر تحور الخلايا من كل جهة، ولكن هذا بعيد عن الحقيقة، فكل الخطوات التي خطوناها إلى الأمام، لم تكن سوى تحركات في المنطقة المكتشفة ولا صلة لها بما بعد هذا الحد الحاجز. وقد أعطتنا الطرق القديمة التي تعتمد على تشريح الأجنة، والدراسات الوراثية العامة حقائق توصلنا إلى فهم عام لطبيعة الجهاز الذي تتعامل معه، ولكنها تؤكد من ناحية أخرى حاجتنا الشديدة لرسم صورة أدق لهذا الجهاز، وتظهر لنا من ناحية أخرى أهمية الوصول إلى التفاصيل الكيميائية الدقيقة لهذه العملية. ولابد لكل خطوة إلى الأمام من أن تكون نوعًا من التأكيد للخطوات الأخرى، وأن تتمشى الحقائق التي تصل إليها مع كل الظواهر التي تجد لنا.

الباب السادس

العضلة والعصب والمخ

نبذة عن المؤلفين:

(١) أبحاث العضلات: بقلم/ أ. زنت جيورجى

منذ سنة ١٩٤٧ والبرت زنت جيورجى يقوم بأبحاثه في علم فسيولوجيا العضلات والكيمياء الحيوية المتعلقة بها، في معهد أبحاث العضلات، في مدينة وودزهول ماسائوستس. وقد ولد في بودابست في هنغاريا سنة ١٨٩٣ ونال درجته في الطب من جامعة بودابست، ثم كوفئ بجائزة نوبل في الطب عن سنة ١٩٣٧. وقد قام بالتدريس والأبحاث في جامعات سيجيد وبودابست قبل ذهابه إلى أمريكا.

(٢) الإشارة العصبية: بقلم / برنهارد كاتز

برنهارد هو رئيس قسم الكيمياء الحيوية الطبيعية في الكلية الجامعية في لندن، ويعتبر بيرنارد أحد قادة البحث العالمين في علم الكيمياء الكهربية للتيار العصبي. وقد ولد في أستراليا سنة ١٩١١ ونال درجة دكتور في الطب من جامعة ليبزج ودكتوراه في الفلسفة من الكلية الجامعية. وفي الحرب العالمية الثانية ذهب مع قوات الطيران الأسترالي الملكي فوق المحيط الباسيفيكي برتبة ملازم طيار. وقد اختير زميلاً في المؤتمر الملكي سنة ١٩٥٢.

(٣) النشاط الكهربي للمخ: بقلم/ جراى والتر

جراى والتر عالم إنجليزي في علم الفسيولوجيا، وقد أحرز تقدمًا كبيرًا في علم الإلكترونات الذي ساعده في تطوير الأجهزة التي تستخدم في دراسة وظائف المخ. وكان من أوائل المشتغلين بأبحاث الألكتروانكفالوجراف **Electroencephalograph** أو رسام كهرباء المخ. وهو مجموعة من أنابيب المهبط تقوم برسم نموذج طوبوغرافي لنشاط المخ الكهربي، وسوف يتعرض لشرحه في هذا الفصل. وقد قام بتصميم الماشينا سبيكيوتركس **machina speculatrix** والماشينادوسيليس. وتساعدان على تنمية ملكة الاختبار والتعليم في سلوك الحيوان.

وقد بلغ والتر الآن ٤٣ سنة العمر أمضى منها ١٥ سنة متقدمًا في أبحاثه التي أجراها في معهد بيرون لدراسة الأعصاب في برستول بانجلترا. وهو من الكتاب والمحاضرين الممتازين في فرعه، ومن المذيعين المحبوبين في دار الإذاعة البريطانية ومؤلف كتاب" المخ الحي".

أبحاث العضلات

أ. زنت. جيورجي

عندما يثير أحد الأعصاب عضلة ما، فإنها تنقبض، وبهذا تقرب بعض العضلات جزأي العظام المتصلة بهما، فيتحرك جزء من الجسم. وتقوم مجموعة أخرى من العضلات بمعظم تحركات الأعضاء الداخلية فالقلب مثلا ليس إلا كيسا من العضلات، وكذلك الأمعاء الدقيقة، كما تنتشر ملايين الخلايا العضلية في جدران الشرايين الصغيرة.

وتنشأ معظم آلام الإنسان من الاضطراب الوظيفي لتلك العضلات الداخلية. فانقباض بسيط في العضلات المنتشرة في جدران الشرايين يرفع ضغط الدم أو يسبب حرمان بعض الأنسجة من الأكسجين. وتبلغ نسبة الوفيات في الإنسان، نتيجة لفشل عضلة القلب، أكثر من النصف. وفي معظم الحالات تقف عاجزين أمام تلك الأمراض التي تصيب آلة العضلات، لأننا لم نتمكن بعد من فهم تركيبها أو وظيفتها.

ويعتبر الانقباض العضلي من أعجب ظواهر المملكة الحيوانية. فإنه من العجيب حقا أن تتحول كتلة هلامية فجأة إلى جسم صلب، ويتغير شكلها ويصبح لها القدرة على رفع الأجسام أكبر من وزنها ألف مرة. كما تستطيع أن تكرر انقباضها مئات المرات في الثانية. ومما لا شك فيه أن مثل هذا الانقباض هو أعجب ما في جعبة الطبيعة من الأسرار. ومع كل هذا فقد جذبت العضلة انتباه الباحثين لأسباب أخرى.

وتظهر لنا الكائنات الحية وكأنها أوراق على شجرة واحدة هي شجرة الحياة. وليست الوظائف المختلفة للنباتات أو الحيوانات بتخصصاتها المتنوعة إلا حالات مختلفة للمادة الحية، تتلاءم في كل حالة مع وظيفتها ومحيطها، ولكنها لا تزال تعمل بنفس القوانين الأساسية التي تتصف بها الحياة. وليس انقباض العضلة إلا أحد ظواهر

ملاءمة المادة الحية مع وظيفتها، ولهذا فعند دراسة القوانين الأساسية للحياة لا تفترق دراسة العصب عن الكلية أو العضلة– أما عند إجراء التجارب فالأمر جد مختلف.

فالحكم الذي يرجع إليه العلماء دائما هو القياس. وقياس التغير السريع للعضلات أسهل كثيرا من قياس التغيرات في الكبد أو الكلية، إذ أن وظيفة العضلة من الوضوح بحيث يمكن رؤيتها بالعين المجردة ويمكن تحديدها بطرق بسيطة، بينما لا يمكننا تتبع التغيرات الكهربية العصبية مثلا إلا بأجهزة خاصة. وتتمتع العضلة بقوة حركية كسرة، مما يدل على أنها تتكون من وحدات صغيرة في ترتيب دقيق الانتظام، حيث تترابط فيما بينها بقوى ضعيفة نسبيا، وهذا يعني أن في امكاننا فصل تلك الوحدات دون أن يحدث فيها تغيير تركيب ودراستها وحدها خارج الجسم.

ولدينا عدة طرق لدراسة العضلة، فعالم التشريح يتفنن في وضعها، وعالم الفسيولوجيا يبحث عن هارمونية وظائفها محاولا ألا يغير من ظروفها الفسيولوجية في أثناء دراسته.. أما عالم الكيمياء الحيوية فيسحق تراكيبها متعمدا. وليس في هذه الطرق ما يصلح للوصول إلى ما هية العضلة لسبب بسيط، هو أن العضلة آلة، وفي أية آلة ينبغي تعاملنا مع عاملين: العامل الأول هو التفاعل المنتج للحرارة، كتمدد البخار في الآلات البخارية مثلا، أو احتراق الوقود في الآت الداخلية الاحتراق، أو كسير التيار الكهربي في المحركات الكهربية. وتحدث مثل تلك التفاعلات الأساسية في أجهزة خاصة، كأسطوانة أو ضاغط أو ملف. ولهذا لابد أن نبحث، في حالة العضلة أيضا، عن التفعل المنتج للحرارة والجهاز الذي يحدث فيه.

والتفاعل للحرارة أو "الطارد للحرارة" هو تغير في الجزيئات المتفاعلة، وهذا يدخل في نطاق علم الكيمياء الحيوية، أما التراكيب المختلفة فتدخل في نطاق علم التشريح الذي يدرسهمستخدما السكين أو الميكروسكوب العادي أو الإلكتروني. وكلتا الدراستين لا تقل أهمية عن الأخرى. وينبغي أن تتوقع أن التفاعل المنتج للحرارة لا يختلف في الفكرة الأساسية في جميع أشكال الحياة، وبهذا تقودنا أبحاث العضلات إلى عمق أصل الحياة، كما أن تركيبها، ولو أنه كثير التخصص، إلا أنه يظهر الأسس المهمة

في البناء الهندسي الحيوي. وعلى ضوء هذه المقدمة لم تعد العضلات مشكلة خاصة ، وليست دراستها إلا دراسة للحياة نفسها، وهذه فرصة طيبة إذ أن العضلة من المواد التجريبية التي يسهل دراستها.

وتبني العضلات من ألياف متناهية في الصغر ترى إلى حد ما بالغين المجردة، وتظهر هذه الألبياف تحت الميكروسكوب كجسم ذي خطوط أفقية، مما يدل على أن الليفة العضلية نفسها تتكوم ثم جزمة من ألياف أصغر أو لويفات. وتمثل هذه اللويفات الوحدات المنقبضة التي يؤدي انقباضها إلى انقباض الألياف والعضلة بالتالي.

وتحتاج اللويفات إلى كمية كبيرة من الطاقة في شكل خاص، فالطاقة التي يحتويها الغذاء لابد وأن تتحرك أولا إلى هذا الشكل الخاص حتى تستطيع اللويفات الاستفادة منها. وتحتاج هذه العملية إلى جهاز كيميائي ضخم يوجد بين هذه اللويفات. وإذا ما انقبضت اللويفات ضغطت المواد المكونة لهذا الجهاز الكيميائي إلى أسطوانات، وهذه الأسطوانات هي التي تعطي اللويفات الشكل المخطط. وإذا أزلنا هذه المواد ذات الشكل الأسطواني، ونظرنا إلى اللويفات عارية تحت الميكروسكوب الإلكتروني، وجدناها تتكون أيضا من خيوط أرفع، وقد سمى العلماء هو وجاكوس وشميت هذه الخيوط بالفتائل **Filaments** وقد قاموا فعلا بتصويرها.

والشكل الخاص للطاقة التي تستطيع اللويفات الاستفادة منه، هو مادة الأدينوزين ثلاثي الفوسفات "**ATP**". وقد كان اكتشاف هذه المادة أحد انتصارات علم الكيمياء الحيوية، إذ أنها أحد المحاور الرئيسية التي تدور حولها الحياة. وتحمل مادة **ATP** ثلاث مجموعات من الفوسفات ترتبط فيما بينها بذرات الأكسجين. وقد بين العالم الفسيولوجي مايرهوف، من جامعة بنسلفانيا، أن تكوين كل رابطة يستلزم ١١٠٠٠ سعر حراري. وحينما تنفصل هذه الروابط في هذا المركب الفسفوري تنبثق الطاقة. وقد سمى العالم فرتزليبمان، من مستشفى ماساتشست العام، هذه الروابط بالروابط الفوسفاتية ذات الطاقة العالية. ويظهر مما سبق أن الأساس في الانقباض العضلي يرجع لتفكك هذه الروابط.

وتؤدي مساهمة مادة ATP في الانقباض العضلي إلى وجهة نظر طريفة، فمن المشاهد دائما أنه حيثما توجد الحياة يوجد حامل لها وهو النيوكليوبروتيني (البروتين النووي). وتتكون هذه المادة من البروتين وحمض النيوكليك. ويكثر الأخير في نوايا الخلايا، ويستنتج من هذا أن هاتين المادتين وناتج تفاعلهما هما المميز الأساسي للحياة. ويتكون جزئ حمض النيوكليك من وحدات صغيرة كثيرة تشبه في تركيبها الكيميائي مادة ATP. وتتصل هذه الوحدات بعضها ببعض مكونة لجزئ ليفي عملاق. ولما كان من العسير التعامل مع مثل هذا الجزيء العملاق، لذا لم نستطيع هذا الجزيء في الوصول إلى معلومات كافية تدلنا على طبيعة أو معنى البروتينات النووية.

ومرة أخرى يظهر في العضلة استثناء يوحي بالأمل، وهو أن المادة المنقبضة في اللويفات، هي البروتين الحي الوحيد الذي لا يتحد مع حمض النيوكليك. ولو بحثنا عن السبب لوجدناه سهلا جزيئات حمض النيوكليك الليفية الطويلة يتعارض وجودها مع ميكانيكية عملية الانقباض. وتتصل البروتينات المنقبضة بوحدات أصغر حمض النيوكليك بدلا من الحمض نفسه. وفي رأي المؤلف أن هذه الوحدات هي مادة ATP وحيث أن مادة ATP هي جزئ فإنه من المستطاع أن ندرس اتصال هذا الجزيء ببروتينات العضلة بسهولة، وقد تكشف لنا هذه الدراسة أحد أسرار الحياة.

ويعد سرد هذه القواعد العامة سوف نقوم بدراسة العضلة ووظائفها، ونبدأ ذلك بقطعها إلى أجزاء صغيرة. فربما توصلنا طريقة دراسة هذه الأجزاء الصغيرة، كل على حدة، إلى فهم العضلة كوحدة في عملية تشبه الطريقة التي يدرس بها الفلكيون الفلك عن طريق فهمهم للتركيب الذري.

وأول خطوة في تفكيك العضلة هي فصل تلك الجزيئات الصغيرة التي تذوب في الماء دون أن تغير شيئا من التراكيب الأخرى التي لا تذوب في الماء. وتنفيذ هذه الخطوة سهل يسير لا يتطلب إلا غسل شريحة من عضلة الأرنب مثلا بالماء. ثم نرجع تلك المواد مرة أخرى، ولكن في صورة مركزة أي ببساطة: نضع العضلة في مستخلص مائي مركز للمواد السالفة الذكر. ما الذي يحدث عندئذ؟ تنقبض العضلة، وبقياس درجة

الانقباض نستطيع أن نقول: إن العضلة انقبضت انقباضا يستطيع رفع وزن يفوق وزنها ألف مرة، أي انقباض يشبه الانقباض العضلي العادي الذي يحدث تحت ظروف الحياة.

ولنا أن نتساءل بعد ذلك ماكنه هذه المواد التي يحتويها العصير العضلي والتي سببت انقباض العضلة؟ ومن حسن الحظ أن هذا السؤال ليس بالسؤال الصعب.

وبأداء تجارب بسيطة ظهر أن المسئول عن هذا الانقباض مادتان هما البوتاسيوم و ATP. وليس هذا بغريب إذ أن مادة ATP تحتوي على الفوسفات. وإذا ما أردنا أن نساعد النباتات على الأزهار فأننا نستعمل سمادا يحتوي على البوتاسيوم والفوسفات. فالعشب يحتاج إلى نفس المواد التي تحتاج إليها العضلة. وهذا يدل على أن التغيرات التي تحدث في الانقباض العضلي ليست سوى تفاعل كيميائي حيوي عام.

وقد وصلنا حتى الآن إلى أن مادة ATP تسبب انقباض العضلة بالإضافة إلى أنها تمدها بطاقة الانقباض. ولا يمكن لأي مادة أن تحل محلها في هذه الوظيفة، فهي الحجر الأساسي في عملية الانقباض ولا تتم إلى بدورها. ولا تزال لمادة ATP وظيفة أخرى. فمنذ زمن بعيد عرف الإنسان التشنج الموتى Rigormortis وهو تصلب عضلي يتلو الموت. ويمكننا أن نرى مثل هذا التصلب إذا ما فصلنا شريحة من عضل الأرنب، وتكون هذه الشريحة مرنة مطاطة إذا فصلت بعد القتل مباشرة. وفي هذه الحالة يمكننا أن نطيلها إلى حد ما، ولكن إذا مضت ساعات تفقد الشريحة مرونتها وتنكسر إذا حاولنا إطالتها. ويعزي فقد هذه الشريحة العضلية لمرونتها يتحلل مادة ATP التي فيها. أو بمعنى آخر إذا منعنا هذا التحلل لا يحدث التصلب وتبقى للعضلة مرونتها، وبذلك تكون إحدى وظائف مادة ATP هي إبقاء العضلة في حالة مرنة.

ولنا الآن أن نتقدم خطوة أخرى في عملية تفكيك العضلة، فنأتي بجزء دقيق داخلي من عضلة الأرنب المغسولة ونعلقها في وسط مائي ثم نضيف إليها البوتاسيوم ومادة ATP، فنلاحظ عدم حدوث أي انقباض ولكننا نشاهد ترسيبا، وكان لابد أن يحدث عندم تنقبض العضلة. ويعزي رسوب لجسيمات الغروية الدقيقة إلى فقد الشحنة

الكهربية، وهذا يمكن اعتباره أساسا لعملية الانقباض التي تسببها إضافة البوتاسيوم ومادة **ATP**.

ويمكننا الآن أن نفكك العضلة إلى جزيئاتها، ففي وجود مادة **ATP** يستطيع محلول مركز من الملح أن يذيب مركبات العضلة مكونا مستخلصا من نوعين مختلفين من البروتينات: أكتين والميوسين، ولكل منهما كثير من الصفات المهمة، ولكن ليس بين هذه الصفات خاصية الانقباض. وأكثر صفات الميوسين أثارة للدهشة هي قابليته الكبيرة للأيونات، فيستطيع في تركيزاته البسيطة أن يغير من شحناتها الكهربية. أكثر صفات الميوسين غرابة تلك التي اكتشفها مساعد المؤلف، وهو العالم ستروب، هي أن هذا البروتين يوجد في شكلين: أولهما جزيئات صغيرة مستديرة توجد عند فصله، أما إذا أضيف إلى المحلول قليل من الملح فإن هذه الكرات الصغيرة تتصل بعضها ببعض مكونة خيطا طويلا. وأكثر الصفات غرابة لهاتين الصورتين، هي أنهما يكونان باتحادهما مركبا يسمى الأكتوميوسين، هو الذي يمثل قدرة العضلة على الانقباض. وقد كانت رؤية الأكتوميوسين وو ينقبض لأول مرة أعظم حدث علمي مر على المؤلف في حياته.

وتتحدث الآن عن مشكلة الترتيب الهندسي لجزيئات العضلة، وهي المشكلة التي لم يتقدم البحث فيها إلا بعد اكتشاف الميكروسكوب الإلكتروني الذي مكن الإنسان من أن يرى عالم الجزيئات. وأول من بدأ دراسة هذا الموضوع هم العلماء هول وجاكس وشميت. ويقوم ببحث هذه المشكلة حاليا العام روسا في المعهد الدولي للصحة، والمؤلف وديكوف في معمل الأخير. وقد بينت تلك الدراسات أن العملية التي تتحول بها جسيمات الأكتين إلى ألياف تتم في خطوتين: أولاهما– تجميع لحوالي ٢٠ من كراتها الدقيقة لتكون جسما طويلا بعض الشيء قد يصل إلى حوالي ٣٠٠ وحدة أنجسترومية في الطول، وحوالي ١٠٠ وحدة في العرض. وثانيتهما– اتصال هذه الجسيمات بعضها ببعض مكونة خيوطا. وقد ظهر من صور الميكروسكوب الإلكتروني أن لتلك الخيوط ميلا كبيرا للتلاصق جنبا إلى جنب، بحيث تقع جسيمات كل خيط في موازاة جسيمات الخيوط الأخرى. وبهذا يظهر الشكل الخيطي في اتجاهين مكونا شكلا منتظما يشبه

الأشكال البللورية.

أما التفسير الكيميائي للعملية التي تتحول فيها جزيئات صغيرة إلى جزيء بروتيني كبير، فهو مشكلة محيرة. ويبلغ حجم جسيمات الأكتين الكبيرة حوالي حجم أصغر الفيروسات. وقد كان من أهم المشاكل في أبحاث الفيروسات تلم الطريقة التي يتكون بها جزئ كبير من البروتين من وحدات صغيرة. وكيف يفكك إلى وحداته الصغيرة ثانية ثم يتكون منها مرة أخرى في نظام جديد. وقد بين بودين ولاكي من معهد الصحة الدولي أن لمادة **ATP** دورا هاما في هذه العمليات.

وقد ظهر حديثا أحد المنافذ التي تبعث الأمل في حل مشكلة العضلات عندما اكتشف ما يدعي بالتفاعل الاتزاني **Equilibrium reaction** وقد جاء هذا المنفذ عن طريق دراسة حرارية هذا التفاعل. وقد أفادتنا هذه الدراسات حقيقتين هامتين: إذ أظهرت أن جهاز العضلة يتكون من وحدات صغيرة لا تعتمد على نفسها اعتمادا كليا، أولها حجم حبيبات الأكتين، كما ظهر أيضا أن وزنها الجزيئي ٧٠٠٠٠ أي تساوي وزن ٧٠٠٠٠ ذرة من الأيدروجين. وإذا ما شبكت هذه الوحدات بمادة **ATP** تصبح لها كمية معينة من طاقة الوضع، وكأنها غدارة محشوة وزنبرك مشدود. وإذا أثيرت بتيار عصبي فإنها تطلق هذه الطاقة وتستطيع مادة **ATP** لما تحتويه من الطاقة أن تعيدها مرة أخرى، إلى الوضع ذي الطاقة العالية، وكأنها غدارة أعيد ملؤها أو زنبرك أعيد شده. ومن هذا نرى أن الطبيعة تحتفظ بمركباتها الحية بعد تزويدها بكمية من الطاقة على استعداد للانطلاق، وإذا خرجت هذه الطاقة من هذه المواد أعيد تزويدها بكمية جديدة وهكذا.

هل يمكننا الآن أن نجمل كل ما سبق في نظرية واحدة تشرح انقباض العضلة؟ سنحاول– ولو أننا سنضطر لتقفز ثغرات واسعة إلى حد ما. سبق أن ذكرنا أن التفاعل الأساسي في الانقباض ليس إلا تغيرا تفقد فيه شحنة كهربية، وأن هذا التغيير يحدث في وحدات ذات أوزان جزيئية صغيرة. وفقد مثل هذه الطاقة لابد وأن يغير في القوة التي تترابط بها الجسيمات الكبيرة. هل يمكن إذن أن تكون اللويفات جسيمات لها ثلاثة

أبعاد ومستطيلة بعض الشيء، فربما يكون الانقباض نتيجة ميل هذه اللويفات.

ليس لنا أن نسأل الآن عما يحدث في العضلة عندما يأمرها العصب بالانقباض ، فلا يزال أمامنا شوطا طويلا من الأبحاث حتى نصل إلى فهم عميق لعملية الانقباض، وكيف ترجع العضاد إلى حالتها الأصلية، وكيف تنتقل الطاقة من مادة **ATP** وحيث أن مادة الأكتوميسين لا تختلف في جميع أنواع العضلات فعلينا أن نبحث عن تلك المواد التي تنظم أو تغير من وظائف العضلة. فمثلا يستطيع الأكتوميسين في العضلات المحركة لأجنحة الحشرات أن ينقبض عدة مئات من المرات في الثانية، في نفس الوقت الذي تنقبض فيه عضلات القلب انقباضا بطيئا منتظما، وفي نفس الوقت– أيضا– الذي تبقى فيه العضلات التي تقفل غطاء المحار ساكنة لعدة ساعات.

وقد يتساءل القارئ، متى نعلم كل هذا؟ هل سنصل إلى فهم العضلة وإلى فهم الحياة نفسها؟ ويقدم المؤلف رأيه الشخصي قائلا: لا، لأن التغييرات الأساسية في العضلة لا يمكن تفسيرها بالمصطلحات الكيميائية الخالصة، وربما نستطيع تفسيرها بالتوزيعات الإلكترونية على المركبات الجزيئية، ويدخل هذا التفسير في نطاق ميكانيكية الطاقة.

وبهذا نصبح في أشد الحاجة إلى دراسة التوزيعات الإلكترونية في جزئ البروتين، وهي بلا شك من أصعب أجزاء علم الحياة، وليس لنا أن نأمل في فهم شيء ذي قيمة عن طبيعة الحياة، حت تتم هذه الدراسات. وتبدو هذه الدراسات الآن وكأنها المستحيل، إلا أن المستقبل كفيل بحمل ما يواجهنا من صعاب. ولا نحتاج إلا إلى تخيل حاذق ينبع من كمية كبيرة من المعلومات في أبحاث جريئة يتعاون فيها البيولوجي وعالم الطبيعة النظرية.

الرسالة العصبية

برنهارد كاتن

الكائن الحي كالمجتمع المنظم، تعتمد حياة كل منهما على تنظيم العلاقة بين الأفراد– ففي المجتمع الحديث تقوم الأجهزة المختلفة مثل المسرة و"التلغراف" والمذياع، بعملية الاتصال بين الأفراد، وللإنسان أيضا أجهزة للتنظيم ولكنها تفوق كثيرا في قدرتها أجهزة المجتمع. فجهازنا العصبي يحتوي على محطات قوية للإرسال ومستقبلات حساسة، وخطوط تربط الأجزاء المختلفة المتباعدة من الجسم، ومحول مركزي يصدر وينظم ويوزع الرسائل إلى جميع أجزاء الجسم بدقة وبسرعة قد تصل إلى كسور من الثانية. وقد اختارت الطبيعة في تكوين هذا الجهاز المحكم طريقة غريبة تثير الإعجاب. فقد كونته من مساحات دقيقة من مواد أبعد ما تكون عن وظيفة الجهاز، فلم تستخدم أسلاكا كهربية أو أنابيب المذياع أو غيرها، إنما استخدمت الماء تقريبا. ولا تزال الكيفية التي يعمل بها هذا الجهاز سرا في معظمها، ولو أن بعض ظواهره درست باستفاضة. وسنركز كلامنا في هذا الباب عن تلك الظواهر فشرح كيف تنقل الأعصاب الرسائل، وهو ما يعرف عادة بالإشارة أو الرسالة العصبية.

وتبدأ قصتنا في مساء أحد أيام شهر سبتمبر في سنة ١٧٨٦ عندما اكتشف لويجي جالفاني، وهو أستاذ التشريح في جامعة بولونا، بالصدفة، ظهور تيار كهربي في قضيب من الحديد، عندما يلامس رجل الضفدعة. وقد تعارض جالفاني في تفسير هذه الظاهرة مع أليساندرا فولتا عالم الطبيعة، ولم تثبت صحة هذا التفسير إلا بعد حوالي ٦٠ سنة. وكان التفسير هو أن الخلايا العصبية والخلايا العضلية تحمل فعلا شحنات كهربية وفي استطاعتها توليد تيار كهربي. وقد قام كارلو ما تيوسي من بيزا واميل دي بوار رايموند من برلين بقياس ودراسة هذه التيارات المتناهية في الصغر بالجلفانومترات،

ولمن التغيير الكهربي الذي حدث في أي نقطة من الألياف العصبية كان قصيرا جدا (بضعة أجزاء من الألف من الثانية) ولم يتمكنوا من قياسه بدقة إلى أن تم اختراع الرسام المتذبذب الحديث وأنبوبة أشعة المهبط. **Oscillograph**

ما الذي نراه إذا سجلنا التفاعل الكهربي للإشارات العصبية؟ تسجل تلك الإشارات العصبية عادة بتشريح عادة بتشريح الضفدعة حتى نكشف أحد الأعصاب، ثم نضع عليه زوجين من الأقطاب الكهربية، أحدهما وهو المرسل، يقوم بتنبيه العصب بصدمة كهربية، والآخر وهو المستقبل ويوضع على مسافات مختلفة على طول العصب لمستقبل الإشارة، ومن ثم نعرف التغيرات التي حدثت في سرعتها أو في قوتها بعد مرورها في العصب. أما في هذه اليام فنستطيع أن نستخدم أنبوبة أشعة المهبط ذات الكهربية الاستاتيكية والتي تستطيع أن تستقبل الإشارة في نفس الوقت وتظهرها لنا كانحراف في مسار نقطة مضيئة تتحرك في اتجاه أفقي على خط مضيء. ويمكننا استخدام هذا الخط المضيء بعد تقسيمه، لقياس الزمن الذي يمضي بين ارسال الإشارة واستقبالها.

وفي هذه التجربة، تستخدم صدمات كهربية قصيرة الأمد لتنبيه العصب، عند نقطة التنبيه التي يوجد عندها القطبان المنبهان، ثم نأخذ في زيادة شدة التيار المنبه تدريجيا حتى تصل شدته إلى مقدار يعرف بالتيار الكافي أو المحتمل، وعندها يسجل الأوسيلوجراف موجة كهربية. ولا تسجل هذه الموجة بعد ارسال الإشارة مباشرة، بل بعدها بفترة من الزمن. وتنتقل الموجة في العصب بسرعة ثابتة، كما يظهر عندما تستقبل الموجة على أبعاد مختلفة من نقطة التنبيه. وقد وجد أن سرعة انتقال الموجة في العصب المحرك لعضلة الأرنب تتراوح بين ٦٠-١٠٠ قدم/ ثانية. وقد تصل النبضة العصبية إلى سرعة عالية كما في الألياف العصبية للحيوانات دافئة الدم، حيث تبلغ جوالي ٣٠٠ قدم/ ثانية.

وإذا زدنا التيار المنبه تدريجيا، تزيد قوة الإشارة المستقبلة من العصب في القوة حتى تصل إلى نهاية عظمى. وهذا يدلنا على أن استجابة العصب تختلف في الدرجة.

وقد علل هذ الظاهرة أحد علماء الفسيولوجيا منذ عدة سنوات بأن عصب الضفدعة، يتكون من ألياف عصبية ملتصق بعضها ببعض على هيئة حزمة، وأن زيادة درجة استجابة العصب للمنبه الكهربي يتناسب مع عدد الألياف التي تتعرض للمؤثر، وقد فرض أن كل ليفة عصبية تستجيب للمؤثر وفقا لقانون "الكل أو لا شيء" الذي يخضع له عود الثقاب، فعود الثقاب إما أن يشتعل، وأما ألا يشتعل. كذلك الليفة العصبية أما أن تستجيب استجابة كاملة، أولا تستجيب على الاطلاق. ومن الواضح أن اثبات هذه الحقيقة يستلزم إجراء البحث على إحدى الألياف العصبية بعد فصلها.

ومن أوائل العلماء الذين حاولوا مثل هذه الأبحاث أوريان وما تثور من جامعة كامبردج وبرونك من فيلادلفيا، وقد فصلو ليفة عصبية تحت ميكروسكوب التشريح. وقد ظهر فيما بعد أن بعض الحيوانات لها خلايا عصبية عملاقة يمكن أن تجري عليها مثل هذه الأبحاث بسهولة. وقد قام العالم الفسيولوجي جيرارد ومساعده من جامعة شيكاغو بتصميم طريقة لدراسة استجابة ليفة عصبية دون أن يحتاج إلى فصلها بالتشريح. وقد استخدم في ذلك ما صات دقيقة تحت ميكروسكوبية كأقطاب كهربية، وقد أمكن وضع وتثبيت هذه الماصات الدقيقة في أحد الألياف العصبية.

ما الجديد إذن الذي أتت به التجارب التي أجريت على ليفة عصبية واحدة؟ إذا دفعنا طرف الماصة الدقيقة داخل الليفة العصبية، ظهر لنا أن سطح الليفة الداخلي مشحون بكهربية سالبة تتراوح بين ٨٠، ٩٠ جزءا من الألف من الفولت، إذا ما قيست بالنسبة للحمام المائي الخارجي– وفي هذه الحالة، إذا أمررنا منبها كهربائيا يزيد تدريجيا لفترات قصيرة لا نشاهد أي تغيير يذكر حتى تصل شدة التيار إلى درجة تزيد على الدرجة الكافية لتنبيه الليفة. وحينئذ تتكون موجة كهربية كبيرة تبلغ شدتها حوالي ١٣٠ جزءا من الألف من الفولت. وإذا ما استمرت شدة التيار المنبه في الزيادة لا نلاحظ أي تغيير في الموجة الناتجة من ناحية الشكل أو الحجم. فهذه الموجة، أما أن تحدث في كامل قوتها، وأما ألا تحدث اطلاقا. ومن هذا يظهر أن عملية انتشار الإشارة في ليفة واحدة تخضع لقانون "الكل، أو لا شيء". وكأنها عملية انفجار إذا نبه فيها

المفجر فإنه لا ينفجر إلا بعد أن يصل إلى نقطة الاشتعال، وإذا وصل غ،نه ينفجر بك قوته.

وبهذا نصل إلى أحد الأسس الراسخة في عملية إرسال الرسائل العصبية. ويظهر لنا أن هذه العملية تشبه في كثير من الوجوه شفرة الاتصال البدائية التي تتكون من نقط فقط، إذا أن النبض العصبي له شكل ثابت لا يتغير. وتتكون أكثر الرسائل تعقيدا من تلك الإشارات المتشابهة ولا يكون الاختلاف إلا في سرعة وصولها. ولتعويض هذا التشابه في عملية نقل الرسائل تنتشر في الجسم اعداد ضخمة من الخطوط المنفصلة جنبا إلى جنب في هيئة حزم عصبية– ويصبح معنى الرسالة في هذه الحالة محددا بالطريق الذي تسلكه، وبالهدف الذي يؤدي إليه هذا الطريق. أما اختلاف الرسائل المرسلة في ليفة عصبية معينة فيختلف فيما بينها في سرعة تلاحق النبضات المرسلة.

وبإضافة بعض التغييرات في التجربة السابقة نستطيع أن نخرج بحقيقة مهمة عن الإشارى العصبية فإذا أمررنا صدمتين كهربيتين متلاحقتين تلاحقا سريعا، فإن الصدمة الثانية إ ذا جاءت بعد جزء أو جزءين من الألف من الثانية لا يستجيب لها العصب، إذ لابد له من فترة قصيرة تعرف (بفترة الراحة)، وهذه الفترة الإجبارية من الراحة تحد من عملية استخدام العصب كوسيلة لنقل الإشارات إلا في اتجاه واحد فلو مر تنبيهان متعاكسان فإنهما يبطلان حينما يتقابلان، لأن كلا يترك خلفه فترة راحة اجبارية تمنع التنبيه المعاكس من المرور. ويعوض جهازنا العصبي هذا التحديد بالإكثار من الطرق العصبية حتى تتمكن الإشارات من المرور كل في اتجاهه الخاص مارا بمحطاته الخاصة.

ونستنتج من هذا أن التنبيه ليس إلا اشارات كهربية تطلق في ليفة عصبية. ما الذي نعلمه عن مصدر الكهربية؟ كيف تبقى بطاريات الخلايا المرسلة والمستقبلة مشحونة، وفي حالة صالحة للعمل على طول السنين؟ وكيف ينتقل التيار الكهربي في هذه الألياف؟ استطعنا أن نجيب عن قسط كبير من هذه الأسئلة بعد مجهود ضخم من الأبحاث في السنوات الأخيرة.

فمنذ ثمانين سنة مضت وضع عالم فسيولوجي ألماني، يدعي هيرمان نظرية جديرة بالذكر: كان من المعروف أن التيار العصبي يستطيع أن ينبه النسيج العصبي، وأن النسيج العصبي بدوره يستطيع أن يولد تيارا كهربائيا. وقد استفاد هيرمان من هاتين الحقيقتين، فاقترح أن الرسالة العصبية تنتقل في خطوات، فالجزء المنبه من العصب يولد التيار الكهربي، وهذا بدوره ينبه الجزء الذي يليه، وهكذا حتى تنتقل موجة من التنبيه الكهربي إلى آخر العصب، بالضبط كما تنتقل عملية الاشتعال من نقطة إلى نقطة على طول الجسم المشتعل. وقد ظهر أن ما فرضه هيرمان لا يبعد عن الحقيقة. وقد أجريت أبحاث كثيرة في الأيام القليلة الماضية عن الطريقة التي تنتقل بها موجة التنبيه نفسها على طوال العصب.

$\frac{3}{1000}$ $\frac{1}{13}$ $\frac{1}{1000}$ والليفة العصبية، أو الأكسون، أنبوبة طويلة دقيقة تنمو من الخلية العصبية الموجودة في المخ أو في الحبل الشوكي، وتتصل بزميلاتها حتى تصل إلى الأجهزة البعيدة كالعضلات أو كالجلد، وقد يصل طول بعض الأعصاب في أطراف الحيوانات إلى عدة أقدام. وهذه الطول يبدو عاديا في نظر مهندسي الكهرباء: فالأسلاك والكابلات الموصلة للكهرباء قد يبلغ طولها ضعف سمكها ملايين المرات، ولكن الأمر يختلف كثيرا عندما نجد خلية من خلايا الجسم قد امتدت هذا الامتداد الكبير، وأنها مازالت مسئولة عن العناية المستمرة بهذا الامتداد، فإذا ما حدثت أية إصابة في جزء من أجزاء الليفة العصبية، فإن الجزء المقطوع يفقد حساسية ويموت خلال أيام قليلة. ومن هذا نرى أن حياة الليفة العصبية تتوقف على عوامل طبيعية أو كيميائية تصلها باستمرار من الخلية الأم. ومازلنا نجهل مثل هذه العلاقة التي أصبحت من أهم المشاكل التي تنتظر الحل.

وتفسير النشاط الكهربي في الليفة العصبية، لابد أن ينبع من كيمياء الليفة وكيمياء السائل الخلوي المحيط بها. وتمتلئ أنبوبة العصب بمادة هلامية، ويظهر جليا أن درجة الصلابة لهذه المادة تتغير بتغير نسبة مواد معينة، أهمها ايون الكالسيوم. وتعزى صلابة بروتوبلازم الليفة، كما في معظم المواد الغروية، إلى محتواها البروتيني. وإذا تركنا المواد

التي تسبب القوام الغروي لهذا البروتوبلازم فإن بقية المواد لا تختلف كثيرا عن السائل الخلوي الخارجي، فكلاهما يتكون من الماء مذابا فيه قليل من الأملاح، وكلاهما موصل جيد للكهربية، إذ تنتقل الأيونات في كل منهما بسرعة متساوية. وتكون الليفة العصبية عادة في حالة اتزان أزموزي مع ما يحيط بها من محاليل، أي أن تركيز الجسيمات الذاتية خارج الليفة العصبية وداخلها متساو. وإذا خفف المحلول الخارجي بالماء، فإن قليلا من الماء يدخل الليفة العصبية ويؤدي إلى انتفاخها، حتى يحدث اتزان أزموزي آخر.

ولكن بالرغم من هذا التشابه في الخواص الطبيعية فإن التركيب الكيميائي داخل الخلية يختلف كثيرا عن خارجها. فمثلا تحتوي أملاح المحلول الخارجي على ٩٠% من أيونات الصوديوم والكلور، بينما يتكون المحلول الداخلي من البوتاسيوم عموما مع مجموعة مختلفة من الأيونات السالبة العضوية، ليس من بينها الصوديوم والكلور إلا بما لا يزيد عن العشر. ولا يستغرب وجود أيونات عضوية في داخل الليفة العصبية، فنحن نعلم أن الخلية ليست إلا مصنعا كيميائيا يستطيع أن يصنع مختلف المواد العضوية، ولكن كيف نفسر تفضيل الخلية العصبية للبوتاسيوم من الصوديوم؟.. من الطبيعي أن توضع عدة نظريات لتفسير هذه الظاهرة، ولكننا لم نصل بعد إلى تفسير نهائي موحد. وأول ما يخطر ببالنا أن نفترض أن للبوتاسيوم ميلا كيميائيا خاصا لمركبات الخلية، وأنه– ولا شك– يرتبط بقوة مع بعض البروتينات. ولكن هذا التفسير لا يمكن أن يكون صحيحا إذ أن البوتاسيوم داخل الخلية، لابد أن يكون في حالة أيونية، وإلا ضعف تفسير الضغط الأسموزي العالي داخل الليفة، أو درجة التوصيل الكهربي العالية للمحلول الداخلي.

وقد قام اثنان من علماء الفسيولوجيا من جامعة كامبردج وهما: هودجكين وكينزو– حديثا– باثبات حركية أيونات البوتاسيوم، باستخدام متتابعات البوتاسيوم المشعة. فقد وضعوا نقطا من محلول يحتوي على بوتاسيوم مشع فوق ليفة عصبية فوجدوا أن أيون البوتاسيوم المشع يستغرق وقتا طويلا حتى يدخل الليفة العصبية، قد يصل إلى حوالي ألف مرة من الوقت اللازم لعملية الانتشار العادية، وكأنه يقاوم حاجزا

منيعا يمنعه من الدخول، ولكنه إذا ما وصل فإنه ينتشر على طول الأنبوبة العصبية بسرعة الانتشار العادي، أي أنها تتصرف كأي ايون غير متصل بأية مادة كيميائية أخرى. وقد أكدت هذه التجربة بتجربة أخرى فاستخدم فيها فرق جهد كهربي على طول محور العصب، ولوحظت سرعة تحرك الأيونات المشعة ناحية المهبط. وقد أكدت هذه التجربة أن أيونات البوتاسيوم الداخلية تتحرك كعامل كهربي طليق ولا يعوق حركتها شيء بعد دخولها الخلية العصبية.

ويمكن أن نقسم الألياف العصبية إلى مجموعتين: الأولى مغلفة والأخرى غير مغلفة، وقد أجريت التجارب السابقة على تلك الألياف العادية (غير المغلفة) المعرضة مباشرة لسوائل الأنسجة المحيطة بها.

وهذا الغشاء العصبي يثير العجب حقا. من المتوقع أن يكون هذا الغشاء من أرق الأغشية، ومن أهم أجزاء الخلية العصبية وأكثرها ارتباطا بعملية مرور الإشارات عبر الليفة العصبية، وقد حير وجوده كثيرا من العلماء حتى أنكر بعضهم وجوده. إذ لم يكن في الإمكان تحديده بأية طريقة ضوئية. ومن المحتمل أن يكون هذا الغشاء طبقة رقيقة جدا من مادة دهنية لا يزيد سمكها على وصف واحد أو اثنين من الجزيئات بحيث يتعذر أن تجرى عليه التجارب حتى باستخدام أقوى الأجهزة الضوئية. وبالرغم من هذه الصعوبة فقد فيست بعض صفاته الطبيعية، وأصبح العلماء يعتقدون تمام الاعتقاد في وجوده، ولا يستطيعون فهم النشاط العصبي إلا بعد فرض وجوده، بالضبط، كما تفسر لنا الذرات والإلكترونات– وهي أجزاء غير مرئية– الصفات المختلفة للمواد.

$\frac{1}{10}$نحن نعلم الآن مثلا أن هذا الغشاء "شبه منفذ" ويتميز بخاصية الانفاذ الاختياري، إذ يسمح لبعض المواد الكيميائية بالمرور بكمية أكبر من غيرها. وقد فسر العالم الفسيولوجي الألماني بيرنستين في أوائل القرن الحالي النشاط الكهربي في الألياف العصبية: إذ فرض أن الغشاء العصبي قد يكون منفذا لأيونات البوتاسيوم في نفس الوقت الذي لا تنفذ فيه أيونات الصوديوم والكلوريد، وغيرها من الأيونات الموجودة

حول الخلية. ويفسر هذا الفرض الكيفية التي تكون بها الخلية هذا الفرق في التركيز الأيوني بين الداخل والخارج وتحافظ عليه، حيث يخلق هذا الفرق في تركيز الأيونات فرقا في الجهد الكهربي، بين داخل الخلية وخارجها. وتبعا لهذا الفرض تحاول أيونات البوتاسيوم الخروج من العصب ولكن جذب الأيونات العضوية الكهربي الاستاتيكي يمنعها من ذلك، إذ أن هذه المواد العضوية لا يمكنها الخروج من الغشاء العصبي– ومن ناحية أخري لا تستطيع أيونات الصوديوم الخارجية الدخول حتى تعوض أي نقص في الكهرباء الموجبة، ولذا يبقى داخل الخلية أكثر سالبية من خارجها ، والخلية العصبية في حالة الراحة تعادل رغبة البوتاسيوم في الخروج من الخلية بالضغط الكهربي إلى الداخل. وقد تخيل بيرنستين أن مثل هذا الاتزان يضطرب إذا ما مر تيار كهربي في العصب، فيقل المجال الكهربي بين داخل الغشاء وخارجه عند المهبط. وقد اعتبر بيرنستين تنبيه العصب بأنه نوع من أنواع الاختلال في هذا الغشاء، يحوله إلى غشاء منفذ للأيونات. وفي تلك اللحظة تمر أيونات البوتاسيوم وغيرها بحرية أكثر. وينتج عن هذا انهيار للمجال الكهربي عبر غشاء الألياف العصبية، وهذا الانعكاس الاستقطابي **depolarization** المؤقت في هذا الغشاء الكهربي، هو المسئول عن فرق الجهد المؤثر أي التنبيه للعصب.

وكانت نظرية بيرنستين جريئة وغير عادية، وقد وافق عليها معظم علماء الفسيولوجيا بعد أربعين سنة، كتفسير مقبول للظواهر الكهربية في الألياف العصبية. ولكن بعد سنة ١٩٤٠، بدأت الأبحاث الجديدة تتصارع مع النظرية، وكانت الصدمة الأولى لنظرية بيرنستين من كونواي أستاذ الكيمياء الحيوية في دبلن، الذي أثبت أن الغشاء الذي يحيط بالعضلات ينفذ أيونات الكلوريد، كما ينفذ أيونات البوتاسيوم. وعندما أخذ العلماء الآخرون في اختبار هذا الانفاذ بالمتتابعات المشعة، وجدوا أن هذا الغشاء ينفذ أيونات الصوديوم أضيا، ولكن بدرجة بسيطة. وقد وجد أنه في نفس الوقت الذي تبقى فيه تركيزات أيونات البوتاسيوم داخل الخلية، وأيونات الصوديوم والكلوريد خارج الخلية ثابتة، تأخذ هذه الأيونات في الدخول والخروج بسرعة ثابتة وبطريقة مستمرة من خلال هذا الغشاء.

والسؤال المهم الآن هو: كيف تجد الخلية الطريق إلى أن تحتفظ بنسبة ضئيلة من الصوديوم داخلها، بالرغم من قوة الانتشار الغشائي والضغط الكهربي؟ لا نعلم بعد الجواب عن هذا السؤال. والمعروف على وجه العموم، أن الخلية الساكنة تقوم بما يشبه مضخة للصوديوم، أي تطرد أيونات الصوديوم باستمرار نفس السرعة التي تدخل بها– ولفظ الخلية الساكنة يعني أن الخلية تسكن عن وظيفتها المعتادة، وهي امرار الإشارة العصبية، ولكنها لا تقف أبدا عن تفاعلاتها التي تؤدي إلى إخراج الطاقة. إذ لا شك في أن الخلية لا تستطيع الاحتفاظ بتركيبها الكيميائيي أو التشريحي إلا باستهلاك مستمر للحرارة. فالخلية تحاول أن تطرد الصوديوم باستمرار، ولما كانت كمية الصوديوم التي تحاول دخول الخلية صغيرة فإن الطاقة التي تبذلها الخلية في هذا الغرض صغيرة، وتستطيع أن توفرها بسهولة من المواد عالية الطاقة التي تصنعها في حالتها الساكنة.

وإلى هنا دعنا نقف قليلا لنلخص ما نعرفه إلى الآن عن الخلية الساكنة، فالخلية الساكنة جسم مشحون، ومصدر الكهربية هو ازدواج العمليتين الآتيتين.

(١) طرد أيون الصوديوم الموجب خارج الخلية باستمرار.

(٢) تجميع كمية كبيرة من الأيونات السالبة داخل الخلية والمحافظة عليها. وبهذا تتكون طبقتان مختلفتان في الشحنة، أحداهما سالبة على السطح الداخلي لجدار الخلية، والأخرى موجبة على سطحها الخارجي. وتتحكم هاتان الطبقتان في توزيع أيونات البوتاسيوم والكلور، فأيون البوتاسيوم الموجب ينجذب إلى داخل الخلية، بينما تخرج أيونات الكلور السالبة. وتسير هذه العملية حتى تتساوى القوة الناتجة عن الفرق في تركيز الأيونات داخل وخارج الخلية مع القوة الكهربية التي تسبب هذا التوزيع. ويستمر هذا الوضع طالما كان للخلية القدرة على طرد أيون الصوديوم.

وعندما نتمعن في هذا النظام تظهر لنا حقيقة هامة، وهي أن غشاء الخلية يقاوم تحركات الأيونات بوجه عام. وتذكرنا هذه الصورة بكابلات الاتصال. فداخل الليفة العصبية موصل جيد للكهربية في حين أن غشاءها يقاوم التيار المستمر بكمية كبيرة

(ولو أنه يمرر التيار ذا التردد العالي). ونستطيع أن نشبه هذا النظام بكبل كهربي يمر تحت الماء، ففي كلا الحالين يقوم بالتوصيل خط أسطواني طويل يقوم داخله بالتوصيل الكهربي، بينما يعزله عن المحلول الخارجي غلاف عازل للكهربية. وطبعا ليست المشابهة هنا إلا مشابهة سطحية.

ومنذ أيام هيرمان، استرعت هذه المشابهة انتباه بعض علماء الفسيولوجيا المتخصصين في دراسة الأعصاب، لدراستها من هذه الوجهة حتى يصلوا إلى مقدار الكفاية التي يقوم بها العصب في توصيل الكهربية عند مقارنته بالكابلات الكهربية. فالكابل الذي يوصل الكهرباء تحت الماء يقوم بتوصيل الاشارات لمسافات طويلة بحيث تصل واضحة جلية، ولهذا نجده محاطا بغلاف سميك عازل، له سعة صغيرة ومقاومة كبيرة، حتى لا يحدث تسرب جزئي من داخل الكابل إلى خارجه. كما يجب أن يكون الكابل سميكا حتى تقل مقاومته للتيار، وموصلا جيدا للكهربية، وغالبا ما يكون من النحاس حتى ى نفقد الطاقة الكهربية كثيرا عند اجتيازه. وبمقارنة هذه الخصائص الخاصو بالكابلات كطول السلك ونوعه، لا تظهر للألياف العصبية مميزات تؤهلها لأن تعمل كموصل للمسافات الطويلة. ليس من المتوقع طبعا أن تنقل الألياف العصبية الاشارات عبر المحيط الأطلنطي، إذ أن أشارة صغيرة «من أشارات مورس» أقل من التيار الكافي لا يمكن تمييزها بعد عشر بوصة، إذا مرت في الألياف العصبية، ولا أثر لها اطلاقا بعد خمس بوصة، أي تعتبر أليافنا العصبية كابلات ردئية لا يمكنها أن تعمل كموصل بين أجزاء المتباعدة، ولا بد لها من نظام معين لتقوية الأشارة على طول الليفة العصبية.

والليفة العصبية ليست إلا سلسلة من محطات التقوية، وهي طريقة يعرفها مهندسو الاتصال السلكي، فكل نقطة على الليفة تستقبل الإشارة الكهربية من النقطة التي تليها ثم تدفعها بكل قوتها، فتنتقل الاشارة إلى النقطة التالية، وهي بلا شك طريقة غريبة لمرور التيار (تدل على نقص في صفات الموصل) تعتمد على محطات تقوية عديدة منتشرة على جميع نقط العصب. فالاشارة الكهربية قبل أن تفقد قوتها تنبه الليفة التي

تستخدم مصادرها المحلية للطاقة لتقوية هذه الإشارة إلى كانت عليه. ويقوم فرق الجهد الكهربي حول نقطة على الغشاء الليفي باثارة الجزء الذي يليه، ويقوم الجزء الجديد بعد ذلك بتقوية الإشارة مستخدما طاقته الحيوية، حتى تستطيع أن تثير الجزء الذي يليه، وهكذا تنتقل الإشارة.

وقد أكدت التجارب المختلفة هذا التصور في نقل الإشارات عبر الليفة العصبية. ويمكننا اثباته بتجربة عملية تجيب على السؤال الآتي: هل تؤدي إثارة جزء معين من الليفة إلى توليد تيار كاف لاثارة النقط التي يليها؟

وجد بالقياس أن هذا ما يحدث فعلا، بل ويتولد تيار يزيد عن التيار الكافي عدة مرات. وقد حاول هودجكين، من جامعة كامبردج، ولورنت دي فو، من معهد روكفلر للأبحاث الطبيعية، أن يجيبا عن السؤال بطريقة أخرى، وذلك بمحاولة منع مرور الأشارة، وكان لهما ذلك عندما قاما بتخدير جزء من امتداد عصب بالتبريد أو باستخدام العقارات المخدرة. وتخدير العصب يفقده الحساسية للتيار ويحوله إلى موصل يشبه الكابلات. وقد ظهر من التجربة أنه لمنع الإشارة عن المرور في العصب لابد من تخدير جزء من العصب، بحيث تفقد الإشارة حوالي ٩٠% من قوتها، وإلا فانها تستطيع أن تفقز الجزء المخدر، وتثير الجزء الذي يلي منطقة التخدير. وهذا يعني أن أكثر من عشر التيار الذي يولده العصب يكفي لاثارة العصب العادي.

وبعد أن أثبتنا أن الإشارة (الرسالة) العصبية لها القدرة على أن تجدد نفسها من نقطة إلى أخرى، يصل بنا الموقف إلى السؤال التالي: كيف يجدد التمبيه العصبي نفسه وما طبيعة هذا التجديد؟ سبق أن شبهنا عملية الاثارة العصبية بالانفجار، ويجدر بنا الآن أن نلقي نظرة على هذا التنبيه الذي يقوم بين الإشارة العصبية والتفاعل الذي يحدث بين خليط متفجر من الغازات، وليكن اللخيط هو غازي الأيدروجين والأكسجين. فإذا سخن هذا الخليط الغازي المتفجر إلى درجة تقارب درجة انفجاره فان بعض جزيئات الأيدروجين والأكسجين من هنا وهناك تثار وتتفاعل بعضها مع بعض، وتنتج من هذا التفاعل حرارة تزيد من درجة حرارة الخليط وبهذا يدخل الخليط

في بداية عملية الانفجار. ولكن العملية، إلى هنا، لا يمكننا اعتبارها عملية ذاتية، إذ أننا لو أبعدنا مصدر الحرارة الخارجي لبردت الغازات، أما إذا سخنا الغازات إلى درجة حرارة أعلى قليلا فان الغازين يشتعلان تلقائيا دون الاعتماد على الحرارة الخارجية، ويحدث هذا الاشتعال بدرجة تكفي لتعويض كمية الحرارة التي تفقد بالتسرب إلى الأجزاء الباردة المحيطة. وعند هذه المرحلة تكفي زيادة طفيفة في الحرارة لتفجير الخليط.

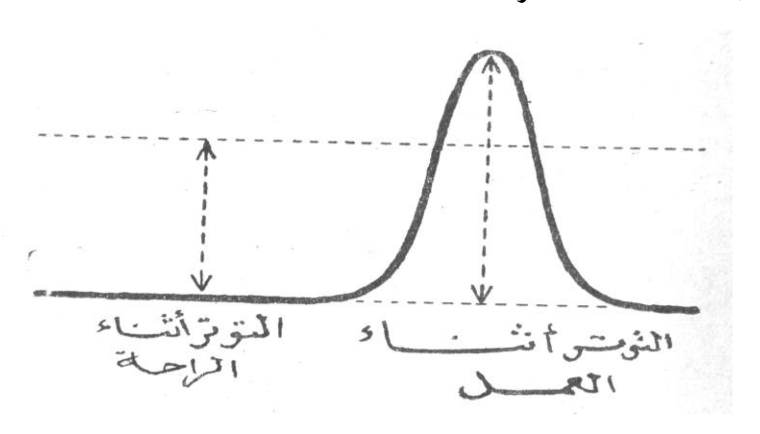
وتحدث نفس العملية بطريقة معكوسة إذا ما عرضنا الغشاء العصبي لأحد الأشارات. فالتيار الكهربي يحاول أن يقلل من فرق الجهد الكهربي الذي بين سطحي الغشاء. ويستطيع العصب أن يسترجع فرق الجهد مرة أخرى في حدود معينة من شدة التيار. أما أذا وصلت شدة التيار إلى درجة أقل قليلا من الدرجة الكافية لاثارته، قد تظهر شواهد لتفاعل جزئي يشبه ما يحدث عند بدء عملية الانفجار. أما إذا زادت شدة التيار عن الكمية الكافية فان العملية تتحول إلى عملية ذاتية، وينجح التيار الكهربي في انقاص فرق الجهد بين سطحي الغشاء، وبهذا تحدث تفاعلات معينة في الغشاء تزيد من انقاص فرق جهده، وتستمر العملية انفجارية متصلة.

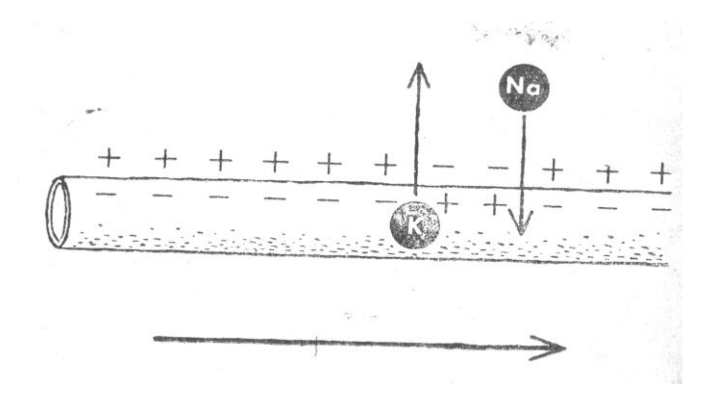
ما هذا التفاعل إذن؟ وكيف يحدث؟ اقترح العالك بيرنستين أن الإشارة العصبية تزيد من انفاذ الغشاء العصبي لأيونات أخرى غير البوتاسيوم، وينتج من هذا أن يصل فرق الجهد الكهربي بين سطحي الغشاء إلى الصفر. وفي سنة ١٩٣٨، حصل العالمان كول وكيرتس، من جامعة كولومبيا، ومن معمل الأحياء المائية في مدينة وودز هول، على إثبات مدهش ظهر لأول وهلة كتأكيد لنظرية بيرنستين، فقد وجدا أن مرور رسالة في الغشاء العصبي يقلل من مقاومته الكهربية ٤٠ مرة، أي يزيد من قدرة انفاذه للأيونات ٤٠ مرة. ولكن في خلال سنة اكتشف هودجكين وهاكسلي من كمبردج، حقيقة أخرى وهي أن فرق الجهد الكهربي بين سطحي الغشاء لا يقل إلى الصفر، وإنما ينعكس فيصبح السطح الداخلي موجبا بعد أن كان سالبا. وهذا يقضي على النظرية التي تقول: أن الغشاء ينهار ويصبح منفذا لكل الأيونات بشكل متساو، إذ لو كانت الأيونات تمر بحرية خلال الغشاء لأصبح سطحا الغشاء في حالة تعادل، وهو غير الذي

حدث حيث أن الكهربية قد عكست.

قام هودجكين وهاكسلي بعد ذلك بتحوير النظرية حتى تتمشى مع الحقيقة السابقة، إذ فرضنا أنه في أثناء عملية التنبيه تزيد درجة انقاذ الغشاء مؤقتا لأيون الصوديوم أكثر من أي أيوان آخر، وذلك يؤدي إلى اندفاع أيونات الصوديوم إلى داخل العصب عاكسا فرق الجهد بين سطحي الغشاء، وقد كان فرق الجهد، في حالة الراحة، ناتجا عن حفظ أيونات البوتاسيوم من الداخل إلى الخارج.

وتفترض نظرية الصوديوم الحديثة أن قدرة الغشاء العصبي لانفاذ الصوديوم هي عملية دقيقة متوازنة وتعتمد على المجال الكهربي الذي تتعرض له مادة الغشاء، فإذا مامر تيار في الغشاء، وخاصة الذي يؤدي إلى تفريغ شحنة السطح الخارجي مؤديا إلى انقاص المجال الكهربي، فأن قدرة الغشاء على أنفاذ الصوديوم تزيد. لذا تأخذ أيونات الصوديوم في الدخول فتزيد بذلك من انقاص الشحنة السالبة التي على السطح الداخلي للغشاء، وبهذا يزيد فرق الجهد بين السطح الداخلي والخاجي للغشاء في النقصان، ولكن يستمر دخول أيونات الصوديوم حتى تشحن السطح الداخلي بكمية من الشحنة الموجبة التي تحملها أيونات الصوديوم، ويقف دخول الصوديوم عندما يزيد جذب الشحنة السالبة الخارجية له.





وهذا الاتزان الجديد هو بالضبط معكوس فرق الجهد الكهربي للبوتاسيوم في حالة الخلية الهادئة. ومن ذلك أصبح في إمكاننا الآن أن نفهم أساس قانون «الكل، أو لا شيء» الذي تتصرف تبعا له الخلية العصبية. فالخلية لا تولد أي تيار إلا إذا وصلت إلى نقطة تشبه نقطة الاحتراق للخليط الغازي المنفجر، وحينما تصل الخلية إلى هذه النقطة فان التيار الصوديومي يبدأ في الظهور، ويزيد في القوة حتى يصل إلى اقصاه دون الاعتماد على المؤثر الأصلي.

ويطول بنا الكلام إذا تعرضنا لتلك التجارب التي أجريت لاختبار نظرية الصوديوم، فقد ثبت أن أنواعا كثيرة من الألياف العصبية تحتاج إلى الصوديوم في محيطها الخارجي، حتى تستطيع أن توصل الاشارات العصبية كما ثبت أن ارتفاع فعل فرق الجهد يتغير في مجال واسع، تبعا لتغير كمية الصوديوم. وقد أدى قياس فعل فرق الجهد في هذه الحالات إلى التنبؤ بالنظرية. وقد ظهر من قياس كمية الصوديوم التي تدخل الليفة، عندما تمر مجموعة من الاشارات، إنها تكفي كميا لاحداث التيار المؤثر. وأخيرا قام هودجكين وهاكسلي بقياس سرعة انتقال الصوديوم إلى داخل أسطوانة الغشاء العصبي عندما يتغير المجال الكهربي وتركيز أيونات الصوديوم الخارجية على مدى واسع. وقد ظهر من هذه القياسات عدة حقائق هامة. فعندما يقل المجال الكهربي فجأة عن قيمته العادية إلى الصفر، تندفع أيونات الصوديوم بدرجة تزيد عما يتطلبه الفرق في تركيز أيوناته بين داخل وخارج الغشاء. وتستمر أيونات الصوديوم في الدخول حتى

يصبح تركيز الأيونات الخارجية أقل من الداخلية، وبذلك ينعكس وضع الأيونات والكهربية. ومن هذا يظهر جليا أن التغيير الأساسي الذي يحدث أثناء عملية التنبيه العصبي، هو زيادة قدرة أيونات الصوديوم على النفاذ بوجه عام. والحقيقة المهمة الأخرى هي أن مرور أيونات الصوديوم الفجائي عملية مؤقتة تنتهي تلقائيا بعد $\frac{1}{1000}$ أو $\frac{2}{1000}$ من الثانية، يزيد بعدها مرور أيونات البوتاسيوم. وليس هذا بمستغرب إذ أنه يحدث لغرض هام، وهو أن خروج أيونات البوتاسيوم يساعد فرق الجهد الكهربي عبر الغشاء على أن يعود مرة ثانية، إلى ما كان عليه في الخلية الهادئة، يستطيع العصب أن يعيد ارسال الإشارات الكهربية التالية بعد وقت جد قصير.

وإلى الآن لا نعلم لماذا تتغير درجة نفاذ الغشاء للصوديوم بتغير المجال الكهربي؟ ومن المحتمل أن يتحرك الصوديوم إلى داخل الغشاء في عدة خطوات وليس كأيونات حرة. فقد تمر هذه الأيونات عن طريق التصاقها بجزيئات المواد الدهنية المكونة للغشاء، أي أن أيونات الصوديوم قد تتحد أولا بجزيء حامل سالب الكهربية، ويقوم هذا الجزيء بعمل المرشد للأيونات حتى تخترق الغشاء، وإذا ما اخترقت الأيونات الغشاء تقفز إلى الماء الداخلي كأيونات حرة مرة أخرى بعد أن تترك الجزيء الحامل لها. وتبعا لهذه النظرية التي لا تزيد في قوتها عن الفرض فإن الجزيئات الحاملة السالبة التكهرب لا تتمتع بحرية الانطلاق، إذ أنها تحت تأثير الجذب الكهربي للسطح الخارجي الموجب، وهذا عندما يكون المجال الكهربي كبيرا، أما في المجالات الكهربية الصغيرة فربما تصبح هذه الجزيئات طليقة الحركة.

ولا نملك إلا أن نقرر أن معظم علماء فسيولوجيا الأعصاب، لا بوافقون بالأجماع على هذا التصور الجديد للتنبيه العصبي، فبعض البحاثة البارزين يعضدون الفكرة التي تقول بأن الصوديوم والبوتاسيوم يعملان كمواد تشحيم أكثر مما يعملان كمواد ناقلة للشحنات عبر الغشاء العصبي. ويعتقد الآخرون أنه من الممكن أن تنتقل الشحنات عبر الغشاء بوساطة أيونات الأيدروجين أو الألكترونيات، ولا شك أن هذه المشكلة

لابد وأن تبقى عرضة لتفسيرات متعارضة في السنوات القادمة.

ويجمع العلماء دون استثناء على أن الاشارات العصبية تنتشر خطوة خطوة على طول الليفة، عن طريق محطات تثوية كهركيميائية وفي حالة الألياف العصبية لا يغطيها غشاء الميدالا تتقوى الإشارة من نقطة إلى نقطة. أما في حالة تلك الألياف التي يغطيها غطاء الميدالا السميك، فتقوى الأشارة بطريقة بديعة حقا– فمحطات التقوية في هذه الحالة موزة على نقط معينة، وهي ثغرات في غطاء الميدالا تعرف بعقج رانفييه. وتنتشر هذه النقط على أبعاد متساوية تبلغ ملليمترا واحدا أو أكثر. أما الأجزاء التي تقع بين هذه النقط فتعمل على توصيل الكهربية توصيلا سلبيا، وكأنها كابل كهربي أو كأي مادة حيوية أخرى. وقد ظهرت أغطية الميدالا بعد مرحلة متقدمة من مراحل التطور، وزادت من سهولة عملية نقل الأشارات العصبية وقللت من تكاليفها. فالأعصاب المغطاة بغطاء الميدالا تنقل الرسائل أسرع من الأعصاب العادية التي تساويها في القطر بحوالي عشر مرات، وبكمية من الطاقة تقل إلى حوالي العشر، فغشاء الميدالا يعمل كعازل للكهربية صغير السعة، وبذلك توفر الوقت والجهد الذي يبذله العصب عندما يقوى الأشارة في عدد كبير من النقط المتقاربة على سطح العصب.

من المثير حقا أن تستخدم عملية التطور هذه الطريقة في زيادة سرعة حمل الاشارات العصبية، فقد كان من المفروض أن يزيد قطر الليفة حتى تزيد سرعة توصيلها. وهذه طريقة لا تخلو من العيوب، فالإنسان في حاجة إلى عدد هائل من الأعصاب، كل يقوم بتوصيل نوع معين من الإشارات من مراكز المخ إلى عدد كبير من أجزاء الجسم الطرفية، فالعين وحدها لها حوالي مليون خط عصبي خاص بها، حيث يجمعهم العصب البصري. ودون اللجوء إلى فكرة غطاء الميدالا، ولم يكن هناك مفر من زيادة أقطار هذه الأعصاب حوالي ٥٠ مرة، حتى تصل إلى ما هو عليه من سرعة التوصيل. وهذه الزيادة بلا شك أمر لا يتسع له رأس الإنسان كله.

النشاط الكهربي للمخ

جراي والتر

منذ ٢٥ سنة من البحث نشر العالم الألماني هانزبيرجر، الذي يعمل في جينا، بعض صور غريبة لا تحتوي إلا على خطوط متماوجة. وكان المفروض أن تثير هذه الأشكال ضجة بين زملائه، لأنه أدعى أن هذه الصور تمثل النشاط الكهربي لمخ الإنسان ولكن لم تحدث أية ضجة بل ولم تقابل رسوماته حتى بنظرة جدية. ومضت عدة سنوات ولم يكلف أحد من العلماء نفسه عناء إعادة تجارب هذا العالم.

وكان من الطبيعي أن تخيب آمال بيرجر حين أهمل اختراعه وعومل معاملة سيئة، وهو الاختراع الذي كان يجب أن يعتبر أعظم اختراع في عصره. وكان لهذا الأهمال عدة مبررات، إذ أن دراسة النشاط الكهربي للمخ عن طريقة قياسية بأجهزة كان يبدو وقتذاك عملا مضحكا. فالطرق العملية في ذلك الوقت كانت لا تعترف إلا بقياس شيء واحد بكل ما تستطيع من الدقة– وكان من البديهي استحالة فصل الوظائف المختلفة للمخ البشري. كما أن منحنيات المخ الذي نشرها بيرجر كانت غامضة، ولا تزيد عن ذبذبات كهربية تصل إلى عشر منحنيات في الثانية. ولم يكن من المعقول أن تحمل هذه الخطوط البسيطة المنتظمة أي معنى قد يقود إلى كشف أعقد أسرار الإنسان ألا وهو المخ. ومن ضمن هذه الأسباب أيضا أن بيرجر لم يكن حاذقا عندما أعلن أنه قد عثر على ما كان يبحث عنه، فعلماء النفس في هذا الوقت كانوا مشهورين بأنهم يجمعون الاثباتات التي توافق آراءهم عن حق أو عن باطل.

وتعتبر هذه المرحلة من تاريخ دراسة المخ البشري درسا لكل البحاثة، إذ أنها تظهر بوضوح أنه من السهل أن يتداعى التصور العلمي أمام نوع التدريب العلمي الذي

تحدده المهارة العملية. كان بيرجر، في الحقيقة، عالما متواضعا يتمتع بقوة ملاحظة فائقة، وكان من سوء طالعه أن مهارته العلمية لم تكن في مستوى حماسته وخياله. وبعد حوالي ربع قرن من ذلك الكشف نمت رسوم برجر من ذلك الكشف إلى أن أصبحت فرعا جديدا في العلم يسمى «علم دراسة كهربية المخ». وتمتلىء الآن الولايات المتحدة وأوروبا بعدة مئات من المعامل التي تسجل وتعلل هذه الخطوط الناتجة عن كهربة المخ، كما تقوم المستشفيات بتسجيل كهربية المخ لآلاف المرضى، إذ أن هذه التسجيلات، قد أثبتت فائدة كبيرة في علاج أمراض المخ.

ولا يمكن الآن معالجة أمراض المخ إلا بعد تشخيصها بمساعدة هذه الرسوم، وكأنها مجرم يترك لنا بصمات أصابعه. فنحن نستطيع الآن أن نحدد المرض العقلي من الرسوم بالضبط، كما توصلنا بصمات الأصابع إلى شخصية المجرم ولكنها لا تدلنا على أخلاقه. وقد كانت العملية في ابتدائها تثير العجب جقا إذ كان العلماء يكتفون بتلك الرسوم، ويؤجلون أنواع الاختبارات الأخرى التي كانت تعتبر أساسية، فقد بدأت مجهودات مختلفة خلال السنوات القليلة الماضية لدراسة طريقة عمل المخ الحي بأجهزة حديثة.

وقد كان من المصادفات السعيدة، أو ربما لم تكن مصادفة، أن العلماء الذين صمموا الآلة الحاسبة الألكترونية الحديثة، وجدوا شبها بينها وبين المخ البشري، وقد كان من دواعي سرور الفسيولوجيين أن يرقبوا زملاءهم المهندسين عندما كانوا يبذلون جهدا كبيرا، وتكاليف باهظة، في صناعة جهاز صنعته الطبيعة للكائنات الحية منذ ملايين السنين. وقد سميت «نقطة التلاقي» بين مهندسي الاتصال والعلماء البيولوجيين بعلم السيبيرنتيكا **Cyber ties** وأول من استعمل هذا التعبير هو الدكتور الفرنسي أندري موري أمبير منذ مائة سنة مضت. وأول من لفت الأنظار إلى هذا الموضوع هو العالم فوربوت وينر، وهو أستاذ الرياضة في معهد ماساشوستس عندما نشر كتابه سنة ١٩٤٩. وقد شجبت مؤسسة جوزياماسي هذا الاتجاه في المؤتمرات التي كانت تعقدها. وبدا يظهر من المناقشات المختلفة حول هذا الموضوع، خيط يطول بين اتصال وانفصال، ويبعث فينا الأمل في أن نصل في يوم ما إلى كيفية عمل المخ البشري

باستخدام طرق طبيعية.

زادت الآلات التي تسجل الكهربية المنتظمة للمخ في التعقيد وفي تكاليف الصنع، وأصبحت تحتوي على مئات من أنابيب الراديو، وتطورت إلى أجهزة ذات كفاية عالية، لها مئات الضوابط التي يضبطها مهندسون مهرة قبل وأثناء كل تجربة، وكانت نفقات هذه الأجهزة تغطي عادة من مصاريف العلاج. إذ لم يكن في إمكان ميزانيات البحث الأكاديمي أن تغطيها. والذي يثير الهشة أنه بعد هذا الوقت وبكل هذه الأجهزة، لم يزد فهمنا عن ما قيمته $\frac{1}{1000}$ من آلة المخ العجيبة.

ويظهر في الشكل، المتفق على أنه يمثل نشاط المخ الكهربي العام، مجموعة من ثمانية أو أكثر من الخطوط المنحنية، ويمثل كل منحن منها اشارات كهربية من جزء معين من المخ. ونحن نفترض أن هذه الأشارات هي رسائل بالشفرة من المخ، وأن علينا أن نبحث عن الطريقة التي تمكننا من حل هذه الشفرة وقراءة هذه الرسائل، وقد ظهر أن أهمية هذه الرسوم في التشخيص تعتمد على أنه في حالات الطواريء الخطيرة يرسل المخ شفرة معينة في هذه الأجهزة.

وتقسم الاشارات تبعا لسرعة تتابع الأشارات الكهربية، وكانت الذبذبات الأصلية التي اكتشفها بيرجر والتي سماها نظم «ألفا» **abpla rhthm** حزمه ينحصر ارددها بين ٨ و ١٣ دورة في الثانية أي بسرعة تشابه أقصى سرعة للأصبع، وكان حجمها أو سعتها الكهربية حوالي $\frac{30}{\text{مليون}}$ فولت. ولم يكن التردد «السعة الكهربية» ثابتا. ولكل فرد شكل خاص يتحدد من تغيرات في التردد والحجم كما لو كانت أحدى صفاته الخاصة كامضائه مثلا، وقد أمكن تمييز نظم «ألفا» بالجزء من المخ الذي تأتي منه، فهي أكبر ما تكون من الجزء الخلفي من الرأس حيث تصل اشارات العين إلى المخ، وهي عادة أكبر وأكثر انتظاما عندما يقفل الشخص عينيه، ويمتنع عن التفكير– ومن هنا ثيل: أن نشاط الخيال البصري يقلل من هذه النبضات، وظهر أن واجدا من كل خمسة أشخاص في المعدل لا يظهر له أي أثر لنظم «ألفا» ولا تظهر نبضات سوى نبضات صغيرة

معقدة غير منتظمة، وتأتي من جميع أجزاء المخ بلا تردد ثابت– وواحدا من كل خمسة أشخاص أيضا تظهر له نبضات ألفا، حتى بعد أن يفتح عينيه. ومن هذه الاختلافات بين الأفراد ظهرت تقسيمات لأنواع التسجيلات الكهربية للمخ البشري، ويناظر هذه التقسيمات اختلافات في طرق التفكير، ويمكننا استخدام هذه الفكرة بدلا من الطرق المتبعة في قياس الذكاء التي أظهرت نجاحا محدودا.

ونستطيع أن نقول الآن: أنه ما من أحد يستطيع أن يحدد بدقة معنى نظم ألفا أو غيرها من نظم المخ، ومع ذلك فهي واضحة جداً وثابتة وخاصة، وأحرزت نجاحا ملحوظا عندما ارتبطت بالنشاط العقلي، ولم تعد موجات كهربية متشابهة لا معنى لها، كما قال عالم فسيولوجيا المخ أوريام في جامعة كامبردج سنة ١٩٣٤.

وقد أثارت المؤلف منذ وقت طويل مصادفة غريبة، فقد كان من المعروف أن النظم المخي عملية متشابهة، ولما ظهر أن الرسوم التي تبين أيقاع المخ أصبحت تتميز إلى أنواع مختلفة تختلف في ترددها وتغيرها المستمر واتحادها وانفصالها فقد أدار السؤال الآتي في ذهنه ما الويفة الفريدة للمخ؟ الوظيفة الفريدة للمخ أن يتعلم، ومن هذه الحقيقة لم يكن أمامه إلا أن يستنتج أنه من المحتمل أن يكون هناك نوع من الاتصال بين عملية التعليم وبين النشاط الموحد للمخ أي نظمه الكهربي.

ومنذ ذلك الحين بدأ المؤلف وزملاؤه في اثبات ما سموه «بنظرية التعلم» ولكن المشكلة التي تفرض نفسها الآن، ولا بدا أن تخطر على ذهن القاريء الفطن، هي السؤال عن الوظيفة الفسيولوجية للنظم الكهربي إذ استبعدنا الهدف الأخير، ألا وهو التعلم، فما أهمية هذا النظم؟ وما الذي يفعله؟ وما دوره الخاص في ميكانيكية عمل المخ؟

دعنا الآن نركز كلامنا على مجموعة النظم المسماة «ألفا» وهي التي ثبتت علاقتها بالرؤية ثبوتا شك فيه. أن أحد الألغاز الفسيولوجية المحيرة الخاصة بالرؤية هو: متى يستقبل المخ الصور؟ وكيف تنتقل الصورة إلى المنطقة المختصة بترجمتها من المخ؟ نحن

نعرف أن المنظر الخارجي الذي يسجل على الشبكية ينطبع على جزء من قشرة المخ، بوساطة العصب البصري الذي يتكون من حزمة متلاصقة من حوالي مليون ليفة عصبية، وتنتقل من جزء القشرة، الذي تنطبع عليه الصورة، معلومات عن الأشياء المرئية إلى بلايين من خلايا المخ الأخرى. هل في إمكاننا إذن أن تتصور أن ملايين النقط من الجزء الذي تنطبع عليه الصورة على اتصال بهذه البلايين من الخلايا المخية؟ ليس من المعقول أن يحدث مثل هذا الارتباط بأية وسيلة طبيعية إذ لا يمكن أن يسعه رأس الإنسان. وهذا يقودنا إلى افتراض وسيلة للاتصال تشبه الاتصال بالرادار أو التليفزيون– أي أن الاتصال بين الجزء الذي تطبع عليه الصورة والأجزاء الخاصة بترجمتها لا بد أن يحدث عن طريق الأسقاط، ويزيد من قوة هذا الفرض الأصل التطوري للنظم المخي. ومثل هذا النظام يدلنا على أن ملايين الخلايا المخية تنطلق معا على فترات متشابهة، وأول الأمثلة البدائية على التعاون الخلوي بهذه الطريقة تزهر في لبسمك الهلامي **jellyfish** ولنا أن نفترض أن الأشكال الأولى لهذا الحيوان كانت تعتمد في وجودها على الأشارات التي تصل إلى شبكتها العصبية حيث تدل على وجود الطعام. وتحدث هذه الأشارات تشنجا عضليا يدفع الحيوان نحو الطعام. ومثل هذا التشنج لا يحدث إلا نتيجة لشحن عدد كبير من الخلايا المحركة. وتتكون الشبكة العصبية غالبا من خلايا حساسة للطعام وآمره بالحركة في نفس الوقت، ومن خلايا محركة الأخرى تقريبا، ولكن ليس في وقت مختلف. أي أنه زيادة على التأخير الناتج عن الوقت الذي يلزم لشحن الخلايا مرة أخرى، هناك تأخير آخر في ايصال الاشارة إلى جميع الخلايا، ويظهر هنا ما يدعو إلى فرض حدوث عملية الاسقاط، فكل السطح الأمامي للشبكة العصبية يتعرض للاستقبال، وتنتقل الأشارة من الجزء الذي تلقي الاشارة إلى بقية الخلايا الأخرى.

وقد تكلفت عملية التخصص التطوري بتحوير الجهاز، بحيث تنتقل الإشارة من الخلايا المستقبلة إلى الخلايا الآمرة بالحركة، ومنها إلى الخلايا المحركة أو المنفذة للحركة، لذا تظهر الخلايا الآمرة بالحركة وكأنها مخ بدائي. وهذا هو المكان الذي يجب أن نبحث

فيه عن عملية إرسال الإشارات الكهربية المنتظمة التي تشبه نظم ألفا. وقد فسرت نظم ألفا بأنها منشطات ضرورية لاسراع وصول التغييرات التي تستقبلها قشرة المخ الخاصة بالرؤية، حيث تحدث بشكل متتابع منتظم. ومثل هذه العملية قد تثير الدهشة حقا إذا حدثت في جهاز بدائي يتكون من خلايا مستقبلة آمرة منفذة، ولكنها لا تكفي لتفسير الظواهر المختلفة التي تجري في العقل البشري. كما أن مثل هذه العمليات قد لا تكون ضرورية في مثل هذه الأجهزة البدائية، إذ أن تفريغ الخلايا إلا مرة بالحركة عندما توصل إشارتها إلى الخلايا المنفذة للحركة هو نفسه كاف لإسراع التغييرات السابقة ويعمل على أن تتخلص الخلايا المنفذة للحركة من المجال السابق، حتى تصبح على استعداد لاستقبال الإشارات القادمة. وتنتقل الآن بالموضوع خطوة أخرى في سلسلة التطور المخي، فالتأخير في نقل الإشارات قد يؤدي إلى نشاط منتظم كوروث بين الخلايا الآمرة بالحركة، يناظر الفترات التي تفصل عملية ارسال الإشارات من الخلايا المستقبلة للمؤثر. وهذا ما يحدث في المخ البشري إلى حد ما، إذ أن نظم ألفا يمسح منطقة القشرة الخاصة بالرؤية ويجلبها من هنا إلى هناك، بهارمونية تتفق مع الفترات التي يبقى فيها المنظر في الشبكية المرسلة.

وكما سبق أن أوضحنا أن أهم ما في نظم ألفا هو التغييرات التي تحدث فيها. كيف تفسير إذن حالة الأفراد الذين لا يظهر لهم نزم ألفا، أو يظهر بصورة ضعيفة تبعا لنظرية الاسقاط؟ لا بد وأن اسقاط هؤلاء الأفراد يحدث بسعة كهربية صغيرة، وهم يتمتعون بصور خيالاتهم البصرية واضحة وثابتة. ولا يبدو هذا التصوير دقيقا على أية حال. وقح نتج من انسياقنا وراء عملية الرؤية في الآلات المعروفة، ففي جهاز التليفزيون مثلا يحدث الاسقاط بطريقة مستمرة لا تعتمد على نوع الصورة، وفي أجهزة الرادار المصممة للبحث عن الأهداف المختلفة يعمل جهاز الاسقاط بطريقة مستمرة، باحثا عن الهدف. وإذا ما انعكس صدى معين يقف جهاز الاسقاط ويدير فوهة المدفع نحو الهدف. وقد استخدم هذا الجهاز البسيط في لعبة معينة تسمى (ماشينا سبكيولاتركس) **maihna specularix** أي الآلة الباحثة. وقد صممت منذ سنوات مضت لمعرفة

قدرة عملية الاسقاط في التأثير على السلوك. في مثل هذه الأجهزة، كلما ازداد نشاط وحساسية الجهاز، قلت حلقت الاسقاط في الانتظام والتتابع. ونحن قد نحتفظ في مخنا بحزمة من الأنسجة الباحثة عن الهدف وهي بدائية في منشئها، ولكنها أكثر دقة في وظيفتها، وأعمق من أي تصور حدث في تاريخ الخيال العلمي. وهنا يمكننا أن نناقش طريقة عمل عضو الاختبار والتصور. وأول مراحل الطريق إلى التعلم هو الفهم، ثم تقدير تغييرات الشواهد المختلفة في العالم الخارجي وكل هذا يحدث في الهلام الكهربي، وهو مادة ذات لون رمادي ضارب إلى اللون الوردي.

وحتى تتم الصورة الكاملة لهذا العالم الغريب المظلم الذي تحيط به الجمجمة، دعنا ننظر أولا إلى الرسوم المخية نفسها. يشبه فهم هذه الرسوم عملية تعلم لغة أجنبية من عدة تعبيرات لها لهجة مختلفة وحوارات خاصة. وهناك شيئان غالبا ما يثيران العجب في كل من يزور أرضا غريبة لأول مرة:

(١) السهولة التي يتكلم بها الأطفال اللغة.

(٢) الشبه العام بين أطفال العالم.

فنحن نعتبر من الثدييات لأن كلمة ماما (**ma**) هي إحدى المقاطع التي يستعملها أطفال الإنسان بصفة عامة، وعادة ما يطلقونها على أول عضو قابلهم من أعضاء الأم، وهو الثدي. فهناك انطباعات مخية مشتركة. وتتشابه رسومات المخ عند الولادة. ولكن في السن الحديثة (حوالي ٣ أو ٤ سنوات) تبدأ رسومات المخ في أن تأخذ شكل رسومات الشخص البالغ، وتظهر في الأطفال حديثي الولادة تأرجحات صغيرة متكررة من التغير الكهربي في كل مناطق المخ. وتتصرف الأجزاء المختلفة تصرفا كهربيا واحدا، ولكن دون تعاون كبير. وتتشابه رسومات المخ خلال النوم في الأطفال، مع تلك التي تظهر للبالغين أثناء النوم، وهي في الغالب كبيرة بطيئة منتظمة الذبذبة وتسمى «نظم دلتا». وفي بعض الأحيان، في خلال الأشهر الأولى بعد الولادة، يظهر نظام معين كانطلاقات مؤقتة من نظم سريع وبطيء عندما يوقظ الطفل النائم، نتيجة حركة ما أو

ضجة، ويعرف معظم الآباء الوقت الذي يتحول فيه الأطفال من مرحلة لا يوقظهم فيها شيء إلى مرحلة يوقظهم فيها أصوات خفيفة، قد تصل في خفتها إلى صوت تحرك خشب الأرضية، وفي هذه الأحيان يكون لهم نفس الاستجابة الكهربية التي تحدث في حالة البالغين. وترتبط هذه العملية في معظم الأحوال بعملية مخية معينة تحمي النائم من أن يوقظ بالضجة الحقيقة، وقد سميت مركب «ك» وتتكفل الحياة باعطاء هذه العملية التي تحمي النوم درجة كبيرة من القدرة على تمييز النغمات، حتى أن الأم قد تنام طوال زوبعة راعدة في حين أنها تستيقظ على تأوهات طفلها الضعيفة.

وفي خلال السنوات القليلة الأولى بعد الولادة يبدأ ذلك النظم المتتالي، في الوقت التي تكون الألياف العصبية في المخ قد أكملت نموها. وفي نهاية العالم الأول يظهر نوع آخر من النظم له تردد حوالي ٥ أو ٦ في الثانية، وأكبر ما تكون على جانبي الرأس. ويظهر أنها ترتبط بما نسميه بالعواطف، وبخاصة بشعور الانزعاج والأسف ويمكن إثارتها بالاغاظة في الأطفال الذين يبلغون من العمر حوالي ثلاث سنوات كتقديم قطعة من الحلوى للطفل، ثم ابعادها عنه ثانية ويمكن إثارة نظم آخر بسهولة بوساطة السرور الطبيعي البسيط، وقد سمي هذا النظم باسم ثيتا **Theta rbythm** لأنه يظهر ارتباطا معينا بوظيفة الثالاموس، وهي جزء من المخ المتوسط الذي يعتبر احدى المحطات التي تمر بها الاشارات الآتية من الجسم، والذاهبة إلى سطح المخ. ويبدأ نظم ثيتا في الظهور عندما يبلغ الطفل في مراحل نموه تلك المرحلة التي يبدأ فيها السيطرة على نفسه، ويختلف العمر الذي يحدث عنده هذا، ويتبعه اختلاف في حجم وصفى نظن ثيتا.

وتظهر أول علامات نظم ألفا خلال السنة الثانية أو الثالثة من العمر، ولكن مكوناتها السريعة نادرا ما تظهر حتى سن ٧ أو ٨ سنوات. ويوجد نظم ألفا سويا مع نظم ثيتا بنسب مختلفة حتى سن الثلاثين أو الأربعين، لذا فتعليل رسومات المخ للأطفال بالأخص تصبح صعبة، وتحتاج إلى تقدير العوامل الاجتماعية والسيكولوجية التي تؤثر على الطفل. إذ يمكن في البالغين رسم رسومهم المخية وهم في هدوء، أما في الأطفال فان فكرة وجودهم في مستشفى، أو منعهم من الجلوس على حجر أمهاتهم، أو

تحديد حركتهم، تكفي أن تؤثر على نشاط المخ. ومن الممكن عادة أن تعرف كمية كبيرة من مخاوف الأطفال ودواعي سرورهم من الطريقة التي يتغير بها نظم المخ أثناء التسجيل أو الاختلاف بين تسجيل وآخر، وقد تختلف رسوم المخ عند الأطفال لأسباب صغيرة كشكل ولون المعطف الذي يرتديه الشخص الذي يقوم بالتسجيل.

والبالغون الذين يصابون بأمراض عقلية أو بأصابات معينة في المخ، أو لهم شخصية طفلية، ربما يحدث لهم انحراف نحو نظم دلتا أو ثيتا الخاصة بالأولاد أو الأطفال، ويظهر نظم سريع في بعض حالات الارهاق، وفي بعض أنواع الصرع وتظهر مجموعة من موجات عديدة بطيئة وأخرى سريعة. ومن الطبيعي أن التحديد المضبوط لهذه الملامح الشاذة لرسوم المخ، هو أهم ما في الرسوم إذ أنها تحدد مكان الاضطراب المخي لجراحي المخ.

وهذه المجموعة التي ذكرناها، والتي تتضمن تغيرات في رسوم المخ قد تقودنا إلى الخطأ إذا نظرنا لها نظرة مبسطة، أو أنها لا تظهر بوضوح إلا في الحالات الشديدة من أمراض المخ، أو في الحالات التي لها تاريخ قديم. ولا بد لهذه التغيرات من أن تظهر بوضوح حتى يكون التشخيص موثوقا به. وتظهر في حالات كثيرة كل المكونات البطيئة والسريعة معا على فترات متقطعة، أو بصورة منتظمة في جميع أجزاء المخ، وتختلف جميعها باختلاف الشخص صاحب الرسوم. ويظهر التسجيل وكأنه إحدى السمفونيات أو كحديث في حفل كوكتيل أكثر منه رسالة بالشفرة، إذ أنها لو اتخذت شكلا مفردا يشبه الديالوج، فاننا لا بد أن نستنتج أن خطأ قد حدث، أما في المخ وأما في جهاز التسجيل.

وليست الصعوبة في تسجيل الرسوم المخية الكهربية في عملية التقاط الرسائل، ولكنها في تسجيل الرسائل معاً في نفس الوقت، وقد تطلب هذا الموقف تعديلات عديدة لزيادة الدقة في هذه التسجيلات. لا يمكن لعين الإنسان تفكيك المكونات المختلفة لمنحن مركب. وقد يتحد في بعض الأحيان نظم مختلف بطريقة ما بحيث يوحي بتغيير كاذب. فمثلا إذا حدث ما يزعج أحد الأشخاص في أثناء امتحان، يتغير المنحنى

بطريقة تظهر أن تردد نظم ألفا قد نقص واحدا أو اثنين من اللفات في الثانية، وقد يكون التغيير الحقيقي، هو انتقال أحد نظم ثيتا ووقوعه فوق نظم ألفا.

ولتفادي هذه العيوب تستخدم المعامل الآن محللا للموجات، وتقوم هذه الأجهزة بفصل الذبذبات الكهربية المعقدة المستقبلة من المخ، بطريقة تشبه عملية فصل المنشور الزجاجي لألوان الضوء الأبيض، فيفصل مكونات الموجات المركبة بدوائر ألكترونية مضبوطة لاستقبال مختلف الترددات. ويسجل قلم متحرك، بطريقة أوتوماتيكية كمية النشاط الذي يحدث عند كل تردد، كل فترة من فترات وقتية منتظمة، يكون عادة زمن الفترة الواحدة ١٠ ثوان. وينتج من هذا النوع من التسجيلات مجموعة من الموجات، تمثل نتيجة تحليل تسجيلات المخ لتردداتها المختلفة، وكأنها ضوء أبيض يحلل إلى طيفه. وتكرر العملية في هذه الأجهزة عدة مرات حيث دوائر ألكترونية أخرى بكتابة المتوسط الأحصائي لقراءات هذا الطيف كل دقيقة مثلا، وبهذا يتمكن القائم بالتجربة من قياس تراكيب الأشارات المخية من وقت إلى آخر، زيادة على أنه يستطيع أن يعرف التغيرات التي تحدث لها في كل فترة من الزمن. وبهذه المعلومات يمكننا تقدير درجة ثبوت الحالة المخية للشخص الذي نفحصه، وهي مقياس مهم لدرجة علاجه من الحالة التي تعود عليها.

وقد أثبت محلل الترددات أنه سلاح قيم، ولكنه كأي سلاح آخر له استعمالات محدودة، إذ لا يمكن استعماله إلا لجزء معين من المخ في كل مرة. ولا تستطيع المعامل المختلفة ماليا، أن تتحمل شراء أكثر من جهازين لتحليل الترددات ، بالإضافة إلى أن عملية تحليل التردد كثيرا ما تكون خاطئة. إذ أنها تحتاج إلى خيال معين، فهي تقترح الحلول الممكنة لمشكلة ما، ومن هذه المقترحات يستطيع الشخص المعالج أن يقوم بدراسات أعمق حتى يتأكد من صحة الفرض الذي اختاره. ولما كانت حالة المخ في تغير مستمر فإن الطريق الذي تسير فيه عندما تستخدم محلل التردد قد يقودنا إلى الحل، بعد أن يكون الحل قد فقد قيمته لأنه جاء متأخراً. ومرة ثانية إذا لجأنا إلى طريقة مقارنة الشفرات فإن التحليل الترددي لا يعطينا أي معلومات عن كيفية ارتباط هذه

الاشارات السريعة التغير، التي تأتي من أجزاء المخ المختلفة، كل بالأخرى أو أي من المعاني المقترحة هو الأصوب.

ومع هذا فقد بدأت المساعدات التي يؤديها محلل الترددات إلى مسجل رسومات المخ تظهر فيما أكتسبوه من خبرات حديثة. وقد وصل حديثا إلى أحد الباحثين محلل للتردد. فأمضي صبيحة يوم السبت في ضبطه وتدريجه، ولما جاء المساء كان على استعداد لتجربته وفي هذا الوقت لم يكن هناك أي شخص يمكن أن يجرب عليه الجهاز إلا مساعد فني، وكان له تسجيل غبي (ومسجلو الرسومات لا يعنون أي إهانة بكلمة غبي، بل على العكس فانه غالبا ما يعطي الأفراد ذوو العشرة الطيبة أغبى التسجيلات. والمعنى المقصود هنا هو نقص الذبذبات الكبيرة المنتظمة)، وفي مساء هذا السبت كان هناك مباراة عالمية في كرة القدم، وكان هذا الشخص يصغي إلى وصف هذه المباراة أثناء عملية التسجيل. وبعد عدة دقائق ابتدأ الشخص الذي يقوم بالتسجيل، وهو الذي كان مشغولا عن الاستماع إلى إذاعة المباراة بتحضير جهازه الجديد ومراجعة تسجيلاته، أن يتدارك أنه كان متتبعا وصف المبارة بطريقة لا شعورية من تأثيرها على المساعد الفني. وكان أول المباراة خاليا من الحماس فكانت نظم ألفا حوالي تسع دورات في الثانية. وكان هناك أثر خفيف لنشاط نظم ثيتا. وبعد ذلك امتلأت المباراة بالحماس فأظهر محلل الترددات زيادة في نظم ألفا إلى ١٠ دورات في الثانية. وعندما سجل الفريق الزائر هدفا زاد حجم نظم ثيتا فجأة حتى وصل إلى حجم نظم ألفا، ولم تحدث أي تغييرات جوهرية في نظم ثيتا، حتى انتهت المباراة بفوز الفريق المعادي. وقد يقال: أنه بعد معرفة نتيجة المباراة يصبح في الإمكان معرفة جنسية الشخص من رسوماته المخية، أو إذا عرف الشخص أمكن معرفة نتيجة المباراة. ولو فحصنا غرفة تعج بالناس في ذلك الوقت لأمكن تمييز الأشخاص الذين تهمهم لعبة الكرة نفسها من هؤلاء المتحيزين لأحد الفريقين.

ومن تحاليل طويلة مفصلة للأصحاء، ظهر أن طيف نظم ألفا أكثر تعقيداً مما كان يظن، عندما يقوم أحد الأشخاص بعمل ما، محاولا معرفة شيء بشعوره، تتعرج

المكونات المختلفة لحزم ألفا بطريقة خاصة تختلف من شخص لآخر. فقد يتصل مكون آخر بعملية البحث عن التعبير اللغوي للشعور، وآخر بعملية تذكر التصور البصري لهذا الشعور، وآخر بمجهود تصور اللون.. وهكذا. ولكل شخص تراكيب معينة من هذه التغيرات تعتمد على الطريقة التي يفضلها الشخص في حل المشاكل وتناول نماذج الموجودات كما يتفق مع تفكيره.

ومتابعة تفسير الرسومات المخية لشخص ما، عملية تتطلب استعدادا خاصا للقائم بالتجربة، وخاصة إذا ما كانت لديه فكرة عن حالة مخه ونواحي اهتمامه في هذه اللحظة. وقد ينتابه شعور يشبه شعور الذي ينصب إلى حديث من ثقب الباب، وهنا يتحمس لسؤال هادف. ولكن في أغلب الأحيان قد لا تتمكن من وضع السؤال في الشكل الذي يؤدي إلى تغيير في رسومات المخ. وأدخلت في سنة ١٩٤٥ طريقة للإثارة، وهي أسهل من طريقة الحديث، وقد أدت هذه الطريقة إلى زيادة مجال تحليل النشاط المخي عن طريق التسجيلات. وتبنى هذه الطريقة على أساس معروف. فإذا كنت تحاول مثلا فك شفرة ما، فان إحدى الطرق، هي إغراء العدو بارسال رسالة ما، تعرفها أنت من قبل مثل رسالة «١٠٠ حاملة قنابل تقترب» ثم تستقبل هذه الرسالة عندما يرسلها العدو بشفرته. وبهذا تكون قد أمسكت المفتاح في يدك. والرادار الذي يستقبل معلومات من رسالة راديو منعكسة ذات تردد محدد هي وسيلة أخرى لها نفس الأسس. وقد طبقت هذه الفكرة على دراسة المخ بإثارة العينين بوضمات قصيرة من الضوء على فترات منتظمة.

وكيفية الوصول إلى هذه الطريقة هي مثال واضح على العلاقة بين الاحتياجات الطبية والحقائق العلمية. فعندما طبقت طريقة تحليل التردد لرسوم المصابين بالصرع، ظهر أن كثيراً من النظم له القابلية للظهور كحزم واضحة تربط بعضها ببعض علاقات حسابية. فمثلا قد يكون هناك نشاط على تردد ٣، ٦، ٩، ٢٤ دورة في الثانية، وتظهر هذه النماذج بوضوح خلال نوبات الصرع. ويدلنا هذا الوضع على أنه قد استخدم تنبيه كهربي قد يؤدي إلى إظهار العلاقة الهرمونية بين هذه النظم في الأجزاء

المختلفة من المخ، أو أنها نظمت هذا النظم المختلف بايجاد الأجزاء الناقصة التي تكمل السلسلة الهارمونية ١٢، ١٥، ١٨، ٢١ في المثل السابق. ويظهر هذا التعليل معقدا، ولكن كان تشخيص الصرع محل شك دائما، إلى أن جاء الوقت الذي لاحظ فيه أحد المحللين ذوي الخبرة إحدى حالات نوبات الصرع. وقد كانت كل الأنواع القاسية من الطرق قد افترضت لاحداث النوبات في أشخاص تعيسي الحظ ممن أصابهم الصرع. وقد وجد أن الطريقة التي يستخدم فيها الومضات الضوئية إنما تؤدي إلى تنظيم نظم المخ وتظهر كأنها وسيلة لطيفة تنير لنا الطريق. ونجحت هذه الطريقة عندما طبقت على المصابين بالصرع، فعندما جهزت ومضات ضوئية معينة للمريض تعرض لحدوث أزماته الخاصة به. وكان نجاح هذه الاستراتيجية في الطب حافزا على دراسة تفصيلية لتلك الطريقة التي يستجيب بها المخ العادي للضوء الوامض، وقد ظهر أن مثل هذا التنبيه يؤدي إلى استجابات شاذة معقدة واسعة النطاق في معظم الناس.

وقد ظهر، ضمن الاكتشافات الأخرى، أن المخ في إمكانه أن يقوم بتنبيه نفسه بعملية ارداع التنبيه ارجاعا إيجابيا. توصل الرسائل الكهربية، التي تخرج من المخ، بأحدى آلات التسجيل، ومنها إلى جهاز ألكتروني **gadget** يصدر وميضات الضوء. وبهذه الطريقة تؤدي استجابة المخ إلى ومضة ما، لظهور ومضة أخرى وهذه تؤثر في المخ مرة أخرى وهكذا.

تعتبر هذه الطريقة، التي ينبه فيها المخ نفسه، فعالة في إظهار الميل الكامل لنوبات الصرع، وهي تشبه إلى حد كبير تلك التي يختبر فيها المهندس ثبات جهاز إرسال، وذلك بأن يدفع إليه برد فعل إيجابي لأحداث اضطراب في الجهاز، ويلاحظ قدرة الجهاز السلبية الكامنة فيه، والتي تعمل على إضعاف هذا الاضطراب، وإرجاع حالة الاتزان مرة أخرى. يحتوي المخ العادي على ضوابط أتوماتيكية، تستطيع أن تمنع الإثارة الزائدة عن الحد حتى أثناء تجربة ارجاع التنبيه إيجابيا.

تظهر أهمية الاكتشافات القدرة الديناميكية والاستجابة الشخصية للمخ لمؤثر ما. وبعد أن يعود المخ إلى حالته الطبيعية من اشارة ضوئية ترسل رسالة بالشفرة إلى كل جزء

في المخ تقريبا. والرسائل التي تصل إلى جزء المخ، البعيد عن الجزء المختص باستقبال اشارات الرؤية، لا تحدث فيه أي نوع من الاستجابة، فهذه الرسالة تؤدي لمن يهمهم الأمر. ولكن هذه اللوائح المخية، كما يقال عادة ليست صارمة بصورة مطلقة. فعملية إرسال واستقبال الأشارات لها فقط ضعفها. وفي كثير من المصابين بالصرع، وحتى في كل واحد من عشرين شخصا يستجيب جزء آخر من المخ للرسالة المستقبلة. ويظهر ما يشبه نوبة الصرع. ويظهر المخ في هذه الحالة، وكأنه أحد مكاتب الحكومة الرسمية، وعليه أن يجيب بجميع أقسامه تفصيليا عن تعليمات، يقصد بها قسم معين آخر. والسبب في التنبيه بوميضات الضوء هذه، له القدرة الكبيرة هو قدرتها على عبور طرق الاتصال المخية بما تحتويه من حواجز، وذلك بفضل الاتصالات السريعة المتلاحقة. فأنت لا تستطيع أن تدفع مسمارا في قطعة من الخشب باصبعك، مهما كان الدفع شديدا، إلا إلى مسافة محدودة، ولكن لو استخدمت نفس الطاقة بشكل متكرر باستخدام مطرقة لأمكنها ادخاله بسهولة.

وإحدى ميزات عملية التنبيه بالومضات الضوئية، أن الشخص الذي ينظر إلى وميض الضوء يؤى أكثر من ومضات، فهناك دائماً إحساس بالحركة، والشكل واللون، ولو أن المنبه الضوئي ثابت، ولا شكل له، وليس له قوة واضحة. وقد مر الكاتب مارجياد إيفانز، وهو مؤلف قصص، بهذه الخبرة ووصف إحساسه كالآتي:-

«ظهرت الأضواء وكأنها تتراقص أمامي وكانت بطيئة في أولها، ثم أخذت تسرع بشكل رهيب وتتغير ألوانها، وألوان تتداخل في ألوان أخرى، وزوايا في زوايا، وقد كانت جميعها ألواناً أسمى من تلك الأولوان الأرضية في صفائها، ولها ارتباط بالتفكير أكثر منها ألوانا للرؤية، ولك يكن لها وهج إنما نشاط وثورة».

والومضات الحمراء لها أثر أكبر من غيرها. وبعض الناس ينتابهم استجابات كهربية وإحساسات بالومضات الحمراء فقط. والعكس صحيح فقد وجد أنه تظهر نوبات تلقائية بسيطة في بعض المصابين بالصرع عندما يلبسون نظارات تحجز اللون الأحمر.

وقد سبب حدوث هذه الأوهام البصرية، في أثناء الومضات، حيرة كبيرة، قد تكون الأشكال المتحركة المعقدة برهانا لعملية الإسقاط التي أشرنا إليها سابقا. وقد وجدنا أن تطبيق الإشارات القصيرة المتقطعة الثابتة على جهاز محول معين، يحدث دائما وهماً بالشكل أو بالحركة. بالضبط كما تظهر هذه الإشارات كجسم متحرك هي ساكنة، ويسمى هذا بالفعل «الإستروبوكسوبي» والتفسير الفعلي للشخص الذي يستجيب للأوهام التي تنتج عن النشاط والثورة الكافية، هو كمن يختبر كيفية تنظيف مخه، وذلك بإزالة هذه الإشارات، باحثا عن أي شيء قد يكون له معنى أو قيمة.

والميزة العظيمة في طريقة الإثارة بومضات الضوء، ومن وجهة النظر التجريبية هي أن للمؤثر علامة معينة، أي يمكن تمييزه بالتردد الذي يومض به الضوء– لذا يمكن استخدام التحليل الترددي تحت.وظروف خاصة. وتحتوي كروموسات المخ على كمية كبيرة من المعلومات المحيرة وهو نشاط لا يرتبط بتجربة معينة. ولا يمكن إزالة هذه الإشارات المتداخلة لأنها جزء أساسي من وظائف المخ. وبحثنا عن التجاوب لمؤثر عملي يشبه موقف شخص تواعد على مقابلة سيدة غريبة في مهاية أحد خطوط المواصلات التي تعج بالناس، فكيف يقابلها ويأخذ بيدها في مثل هذا الزحام الشديد؟ والحل المعقول لذلك أن يتفق معها على أن يلبس زهرة ذات لون معين، وأن ينتظرها في مكان محدد وفي وقت محدد. وإذا ما أضفنا طريقة الومض الضوئي إلى عملية تحليل التردد وجدنا موقفا يشابه هذا الحل. فللمؤثر تردد معروف، أما كمية النشاط التلقائي الذي يحدث في مختلف أجزاء المخ، وله نفس التردد، فيمكن قياسه بسهولة قبل التجربة. ولذا فإن أية زيادة في النشاط عند هذا التردد، نتيجة للتنبيه، يمكن أن تظهر بوضوح في أثناء عملية التحليل، حتى لو كانت مختفية في هذا الجمع الغفير من النظم الأخرى والتفريغات الكهربية المختلفة. ويمكن قياس الاستجابة المنتظمة حتى لو وصلت إلى حد يبلغ $\frac{1}{\text{مليون}}$ فولت، وحتى لو كانت الاشارات المتداخلة أكبر منها ٢٠ مرة. وإذا نظرنا للموضوع من هذه الوجهة فإن الاستجابات الغريبة البعيدة لومضات الضوء تتصرف، وكأنها رتبت نفسها على معرفة ميعاد مجهول بدلالة زهرتها الحمراء.

ولكن جاء معها، في الوقت نفسه مل خالاتها وعماتها من كل ركن من مكان الميعاد، وكلهن يلبسن أزهاراً حمراء لها ظلال متشابهة ومعانٍ غريبة.

وليس من الواقع في شيء مقارنة تحليل التردد بميعاد المقابلات الغرامية، فبالرغم من أننا نستطيع أن نتعرف على النظم الصغيرة جدا بتردداتها فإنه ليس في الإمكان تحديد وقت ومكان. وقد يمدنا التسجيل العادي المكتوب بهذه المعلومات وقت حدوثها.

وقد بدأنا سنة ١٩٤٧ القيام بطريقة أخرى لتتبع الإشارات المخية نأمل أن تساعدنا على التخلص من التداخل الذي تحدثه الإشارات الأخرى، وحتى نتصرف دون أن نرى جمعا من الغرباء يحومون حول مجهولنا العزيز. والآلة التي نشأت أخيراً في معملنا تسمى «بالتوبوسكوب» (**Toposcope**) لأنها كانت مصممة أصلا لتظهر طوبوغرافية نشاط المخ. وقد نما التصور تحت فكرة إزدواج أربعة أجهزة أخرى (كل بطريقة عمله الخاصة) حتى أصبحت اليوم تعتبر أكثر من مظهر للطوبوغرافيا.

ويشبه التوبسي الرئيسي، إلى حد بعيد، التليفزيون الصغير، مقاس ٢٢، أو جهاز الرادار. ويتكون من ٢٢ أنبوبا من أنابيب أشعة المهبط، كل متصل بقطب كهربي لجزء مختلف من أجزاء رأس الشخص، وتترجم في صورة مرئية، وتنتج صورا تختلف درجة توهجها تبعاً لاختلاف نشاط الجزء المناظر لها من المخ. وهي تأتي بإشارات المخ وتضخمها ثم تنقلها إلى شاشاتها، وعندما لا يكون هناك أية إشارة لا يظهر شيء على الشاشات. ولكن عندما ينشط المخ تضيء الأنانبيب وتبدأ في العمل، وقد صور سيرتشارلز شيرنجتون الشعور الذي أثارته فيه هذه الآلة في قطعة أدبية, وتقوم كاميرا أوتوماتيكية، برسم هذه المناظر وتحويلها إلى صور مرة أخرى، وتظهر كأنها الفراشات المضاءة التي تعيد إلى أذهاننا التأثير النفسي للعقل الكلاسيكي.

والأنابيب التي تعمل، مرتبة خلف شاشة من البلاستيك عليها خريطة للرأس كما تظهر من أعلى. وكل أنبوب يشبه إلى حد ما وجه ساعة أيضاً– إذ أن الشعاع

الإلكتروني الذي تتحكم فيه إشارات المخ، إنما تكونه دوائر كهربية خاصة في خط دائر، ويشبه في ذلك اليد السكانسة لمستقبل الرادار. وتعمل جميع أيدي الساعات الإلكترونية بسرعة واحدة، ويتحكم في ضبط هذه السرعة الشخص القائم بالتجربة، فإن تقاسم الوقت تكون مشابهة للتقاسم العادية للساعة، أما إذا كان المخ هو الذي يضبط الوقت إن الوقت يصبح أمراً محلياً، أي أنه يصبح تقاسيم وقتية لهذا الجزء من المخ في تلك اللحظة. وتظهر العلاقة المختلفة بين تقاسيم المخ والتقاسيم المشابهة للساعة كأجزاء لامعة من الإبرة، على متر يسجل الوقت لكل دورة من اليد. وعلى ذلك فإن الأجزاء المخية التي لها تقاسم وقتيه، تشبه التقاسم المعتادة، يمكن التقاطها بسهولة، ويمكن تمييز الرسالات التي تحملها عن غيرها.

ولما كان في استطاعة الجهاز أن يوصل المنبهات أيضاً في أشكالها المختلفة في الأوقات المختارة، فإن ازدواج الإحساسات الجديدة للنشاط السابق يمكن مشاهدته، وكأنه مجال كهربي بأشكال بديعة.

وعندما بدأنا في استخدام هذه الآلة وجدنا أن تواقيت الخرائط صعبة الفهم، ولكن بدأت الشفرة الجديدة تدريجياً في اختراق رؤوسنا الغليظة، وكثيراً مما كان صعب الفهم في إشارات المخ العادية، أصبح له الآن شكل جديد واضح. وعندما يستقبل المخ توقيتاً معيناً للإشارات المنظورة (مثلا مجموعة متتابعة أو مجموعة واحدة من الومضات، ثم فترة ثم يليها مجموعة أخرى وهكذا) فإن التوقيت غالباً ما يكون في حالة سوء اختيار، فالمساحات المتجاورة تستجيب للأجزاء المختارة من التوقيت على التتابع، وكأن عملية من العمليات قد بدأت في مل جزء من المخ بعد الآخر وتتحد الاستجابات مرة ثانية في المناطق البعيدة عن منطقة الرؤية، في ترتيب ينسبه الترتيب الأصلي.

وهذان العاملان– التفكيك ثم التخليق مرة أخرى– يظهران وأنهما يحلان جزئيا سرين من الأسرار الرئيسية التي ظهرت مع رسوم المخ هما وظيفة نظم ألفا، والانتشار الواسع لتنبيه الومضات الضوئية. يظهر النشاط في معظم الأفراد الأصحاء في الفص

التمبوري **Temporal lobe** أو الجبهي، وهي بعيدة عن المنطقة المرسلة البصرية غالباً، عندما يكون النموذج البصري ذا أهمية. وقد يظهر النموذج هناك كاملا مرة أخرى، وقد يكون مبسطا أو ناقصا، كما كان.

يتوقف النموذج في الفص الجبهي عندما ينتهي المنبه، كشبح من المعاني، كلما مضت عليه الثواني يدخل في بحر النسيان، كأنه لا شيء بتاتاً. لا تظهر أي آثار لهذه العمليات الغريبة في الأشخاص الذين لهم خبرة طويلة في هذه المحاولات. وليست العمليات هي الطريق المناسب للحياة الأوتوماتيكية، ولكنها الآلة التي تفتح الآفاق وتغري بالمخاطر التي ترشد المخ الحي إلى أن يقارن بنفسه التغيرات اللاشعورية، وفرض العالم الذي لا بد من أن يتعامل معه.

وهنا نواجه المشكلة الكبرى، وهي كيف يستطيع المخ أن يقرر أن ارتباطا أو مصادفة من الحوادث ليست إلا صدفة بحتة– وإذا حللنا المشكلة يمكننا أن نظهر أنه يلزم سبع عمليات منفصلة، حتى نقرر إذا ما كانت سلسلة واحدة من الأحداث تضمن الأخرى. ولتمثيل هذه النظرية صممنا، منذ ثلاث سنوات مضت، السبع الخطوات المتتابعة في دائرة تعليم إلكترونية بسيطة، وقد سميناها ماشينادوسليس (**Machina docilis**). وببناء هذه النماذج ومراقبتها نأمل في أن نشرح، أو على الأثل نصف الطريقة الأكثر عمقاً لصفات وظائف المخ التي بدأ التوبوسكوب في إنارتها، ويستطيع م. دوسيلس أن يحفظ درساً واحداً بسيطا. أما في المخ البشر يفلم تعرف بعد أي حدود لعملية التعلم. ولكن نستطيع في المستويات المنخفضة أن نقول: إن لنا بعض الثقة في أن تكون ميكانيكية الفهم قريبة من أذهاننا.

وتشير الصورة التي يرسمها التوبوسكوب لعملية الاستجابة في المخ كما تقول النظرية: إن الإشارات الداخلية للمخ تتعرض لعمليات من التجهيز قبل أن تصل إلى المناطق المستقبلة الأولية. ويوجد في وسط المخ في مكان ما كمية من الخلايا العصبية المتداخلة، والأطراف العصبية التي تلتقط من تيار الرسائل الداخلة، سلسلة من الملاحظات التي تفيد أن شيئاً ما قد حدث، وهذه المعلومات صورة واضحة أكيدة

وتذاع على كثير من المناطق البعيدة، وينتج من ذلك أن يتنبه كل المخ. وعندما يكون الموقف مثيراً وكثافة الإشارات عالية، يكون للاستجابات الواسعة الانتشار غالباً طابع التحذير قائلة: قد يحدث أي شيء. ولكن كما رأينا، التعود يولد الاختلاف، إذ يتعلم المخ أن يفسر الرسائل ويحتفظ بها في ملفات بعيدة، إلا لو خرجت لتحدث إشارة لحدث هام. ومن خلال مرور الوقت وبعد عدة محاولات «بروفات»، يبدأ المخ في تكوين معنى وأهمية الرسائل الجديدة.

ونموذجنا الإلكتروني لهذه العملية، وهو م. دوسيلس يوحي بأن هذه العملية صحيحة، إذا كان المخ يقوم بعمله كعداد إحصائي. ونحن نعلم تماما أن المخ الحي الذي نفحصه بآلاتنا المسجلة، مشغول في أن يستنتج بقدر طاقته من الفرص المختلفة أن ما نعمله قد يكون له بعض المعنى– بعض الارتباط بمشكلة الاستمرار في الحياة. وقد نضع يدنا، أحياناً في لحظات التجارب، على رسالة تقوم بنقل معنى ما على ما يظهر– وبعد ذلك يبدأ نسيج «الفابريقة» الكهربية الذي سبق تكوينه أمام أعيننا، في أن يأخذ نموذجاً ذا معنى. وفي هؤلاء الأشخاص الذين يعانون من اختلال في الشعور أثناء الوضمات، يتعدى التناسق العام الذي في المخ الخطوط الرئيسية، ويلقي إلى الخارج استنتاجات تملؤه الوحشية والوقاحة، وكأن كل شيء يعني لا شيء. وهذه النتيجة لا تتفق أبداً مع استمرار الحياة، إذ أن الكبت العام قد يؤدي إلى كارثة، ويدخل المريض في لحظة من لحظات الشرود.

وقد وجد أن تطبيق هذه الطرق والنظريات على المشاكل الطبية يشكل مهمة خطيرة. فالاختلالات العقلية أو العصبية التي لا يمكن تمييزها في رسومات المخ العادية غالبا، تظهر بوضوح عندما تدرس بالتوبوسكوب أثناء التنبيه أو الإثارة. وإحدى الظواهر التي لها معنى، هي طول المدة الذي يثبت عليها النموذج الكهربي بعد انتهاء التنبيه. وتظهر لحظة التذكر في هؤلاء المصابين باضطراب في التفكير، أطول بعشر مرات مما هي في الأشخاص العاديين، وعندما تظهر لهم نماذج مختلفة في تتابع، يظهر نشاط المخ وكأنه تعرض مرتين لأشباح سيريالية وأوهام.

وكان في استطاعتنا في بعض حالات قليلة أن نقترب بالتوبوسكوب من بعض المستويات العميقة في المخ، وذلك عندما يضظر الجراحون لإزالة الأجزاء الخارجية من المخ للمريض، الذي كان يعاني من إصابات خطيرة في المخ أو من مرض ما. وكما نتوقع من النظرية، فإن النشاط في أجزاء المخ العميقة أبسط وأكثر استعجالا، وأكثر حركية من مثيلتها من الأجزاء العليا. والأهم من كل هذا أنه لا توجد أية آثار للذاكرة أو بقاء النموذج التأثيري عندما تنقص القشرة العليا من المخ.

وبالمجهودات المتحدة لكثير من المعامل التي استخدمت الآن لهذه الدراسات، نستطيع الآن أن نتبين الطريق الذي سنبحث فيه عن المخ الحي بشيء من الثقة.

الفهرس

الباب الخامس

الخلية والكائن الحي

الباب السادس

العضلة والعصب والمخ